

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**

| GENERAL CONTRACTOR | | DIRETTORE LAVORI | | SCALA |
|----------------------------|--|--|--|-------|
| IL PROGETTISTA INTEGRATORE | Consorzio Iricav Due ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Febbraio 2021 | Valido per costruzione ing. Luca ZACCARIA iscritto all'ordine degli ingegneri di Ravenna n. A1206 Data: Febbraio 2021 | | |

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. FOGLIO

I N 1 7 1 0 Y I 2 C L F A 0 7 0 2 0 0 1 A - - - Di - - -

| | VISTO CONSORZIO IRICAV DUE | |
|--|----------------------------|---------------|
| | Firma | Data |
| | ing. Luca RANDOLFI | Febbraio 2021 |

Progettazione:

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | verificato | Data | Approvato | Data | IL PROGETTISTA |
|------|---|--------------------|---------------|--------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| A | Recepimento prescrizioni Del. CIPE n. 84/2017 | ing. Luca RANDOLFI | Febbraio 2021 | ing. Luca RANDOLFI | Febbraio 2021 | ing. Giovanni MALAVENDA | Febbraio 2021 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Data: Febbraio 2021 |

CIG. 8377957CD1 CUP: J41E91000000009 File: IN1710YI2CLFA0702001A
Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 2 di 121 | |

Il presente documento è stato dapprima aggiornato in esito alle istruttorie e tavoli tecnici con il Committente, quindi a seguito delle specifiche richieste di integrazioni durante la fase di istruttoria e da ultimo per il recepimento del quadro prescrittivo a seguito dell'approvazione del Progetto Definitivo da parte del Cipe con Delibera n.84 del 22.12.2017.

Il presente documento inoltre si riferisce all'intero 1° Lotto Funzionale Verona-Bivio Vicenza ricompreso tra le progressive pk. 0+000 e pk. 44+250.

Il suddetto Lotto Funzionale Verona-Bivio Vicenza, fino alla pk. 44+250, è costituito dall'unione dei sublotti: il primo (SL01) da Verona (pk. 0+000) a Montebello Vicentino (pk. 32+525) a Bivio Vicenza (pk. 44+250) al fine di consentire l'innesto della linea AV/AC sulla linea storica esistente.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 3 di 121 | |

INDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | PREMESSA..... | 5 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE OPERE | 5 |
| 3 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 8 |
| 4 | VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA | 9 |
| 5 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 10 |
| 6 | PARAMETRI GEOTECNICI | 12 |
| 7 | ANALISI DELLE AZIONI | 14 |
| 7.1 | AZIONI STATICHE | 14 |
| 7.1.1 | PESI PROPRI STRUTTURALI (G1)..... | 14 |
| 7.1.2 | CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2) | 14 |
| 7.1.3 | CARICHI VARIABILI (Q _K) | 16 |
| 7.1.4 | CARICO DELLA NEVE (Q _N)..... | 16 |
| 7.1.5 | AZIONE DEL VENTO (Q _V) | 16 |
| 7.1.6 | AZIONE SISMICA (E)..... | 18 |
| 8 | COMBINAZIONI DELLE AZIONI..... | 26 |
| 9 | ANALISI DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE | 29 |
| 9.1 | MODELLO E CODICE DI CALCOLO | 29 |
| 9.2 | APPLICAZIONE DELLE AZIONI STATICHE | 34 |
| 9.3 | ANALISI SISMICA | 38 |
| 9.4 | RISULTATI DEL CALCOLO SPAZIALE | 47 |
| 10 | VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN ELEVAZIONE | 48 |
| 10.1 | PILASTRI | 48 |
| 10.1.1 | PILASTRI (30x50) cm | 49 |
| 10.1.2 | PILASTRI (35x50) cm | 53 |
| 10.1.3 | PILASTRO (30x30) cm | 57 |
| 10.2 | MONACO | 60 |
| 10.3 | TRAVI D'IMPOSTA..... | 64 |
| 10.4 | CATENE | 68 |
| 10.5 | TRAVI DI FALDA | 72 |
| 10.6 | SOLAIO..... | 77 |
| 10.7 | CORNICIONE | 80 |
| 10.8 | VERIFICA AGLI SLE PER AZIONI SISMICHE | 83 |
| 10.8.1 | VERIFICA DANNEGGIAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI..... | 83 |
| 10.8.2 | VERIFICA DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI | 84 |
| 11 | VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN FONDAZIONE | 84 |
| 11.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE | 84 |
| 11.2 | VERIFICHE STRUTTURALI TRAVI DI FONDAZIONE | 86 |

| | | | | | |
|---|--|---------------------|--|-------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | | | | |
| <p>FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p> | <p>Progetto IN17</p> | <p>Lotto 10</p> | <p>Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</p> | <p>Rev. A</p> | <p>Foglio 4 di 121</p> |

| | | |
|--------|--|----|
| 11.2.1 | TRAVI ROVESCE..... | 86 |
| 11.2.2 | TRAVI DI COLLEGAMENTO TRASVERSALI INTERNE..... | 90 |
| 12 | ALLEGATO 1: TABULATO DI CALCOLO..... | 93 |
| 13 | ALLEGATO 2: CALCOLO MURO DI SOSTEGNO | 93 |

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABBRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 5 di 121 | |

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto esecutivo delle opere strutturali del fabbricato di servizio tipo PT da realizzare nell'area del piazzale di stazione prevista al km 19+840 della nuova linea ferroviaria AV/AC Verona – Padova, 1° sublotto: Verona – Montebello Vicentino, in Comune di San Bonifacio (Verona). In particolare la relazione illustra le caratteristiche geometriche generali e le dimensioni degli elementi strutturali, definisce le caratteristiche dei materiali costitutivi e riporta i calcoli statici del progetto esecutivo delle opere in elevazione e in fondazione.

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Dal punto di vista architettonico il fabbricato PT è composto da un unico organismo edilizio, a pianta rettangolare con dimensioni (58,05x7,20) m e un solo piano fuori terra, copertura a padiglione con pendenza delle falde di 19°, altezza al colmo di 5,70 m e finitura con tegole laterizie, cornicione/veletta perimetrale in calcestruzzo faccia a vista con altezza alla gronda di 3,80 m fuori terra, murature perimetrali e interne in blocchi forati di calcestruzzo vibro-compresso rivestiti all'interno e faccia a vista all'esterno.

La struttura si compone di due corpi distinti, simmetrici rispetto al giunto strutturale di 10 cm posto sull'asse centrale, ciascuno con dimensioni in pianta di (28,52x6,70) m sugli assi strutturali.

La struttura in elevazione è costituita da un'intelaiatura spaziale di travi e pilastri in calcestruzzo armato ordinario gettato in opera e dall'unico solaio di copertura latero-cementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento. Sugli allineamenti trasversali sono previste "catene" in cls armato alla quota di imposta della copertura che assorbono la spinta dovuta all'inclinazione delle falde; la catena è sormontata al centro da un "monaco/ometto" che riproduce l'immagine tipica della struttura "a capriata". Le travi di falda, di colmo e di displuvio sono tutte a spessore di solaio ($s=24$ cm), le travi perimetrali hanno sezione (30x70) cm e raccordano la quota della falda con quella del cornicione, quest'ultimo con spessore di 18 cm, la catena ha sezione (40x30) cm e il monaco (25x25) cm. I pilastri hanno sezione (30x50) cm mentre i due sul giunto sono (35x50) per irrigidire questo allineamento di testata privo di pilastro intermedio (30x30) cm.

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 6 di 121 | |

La struttura di fondazione, anch'essa distinta per i due corpi, è costituita da un reticolo di travi. E' prevista una trave perimetrale a "T rovescia" con suola di (170x50) cm e anima di (45x80) cm, ad eccezione del tratto trasversale sul giunto per il quale la sagoma è a L con suola di (120x50) cm e anima di (40x80) cm; l'altezza totale è di 130 cm sull'intero perimetro. Sono anche previste travi di collegamento, generalmente con sezione (100x40) cm, poste sugli allineamenti strutturali trasversali e delle murature interne; la sezione ribassata favorisce il libero alloggiamento del pavimento flottante e degli impianti a questo livello.

Si riportano di seguito alcune figure che illustrano sommariamente la struttura in esame, con riferimento ad uno dei due corpi, mentre per il disegno dettagliato si rinvia agli elaborati grafici del progetto strutturale.

SEZIONE CARPENTERIA FILO 3 - Scala 1.50

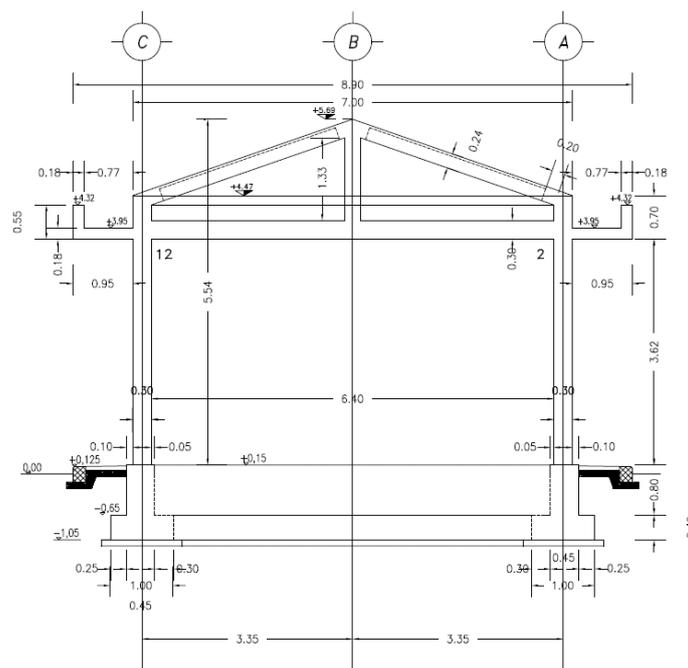


Fig.1- Sezione trasversale

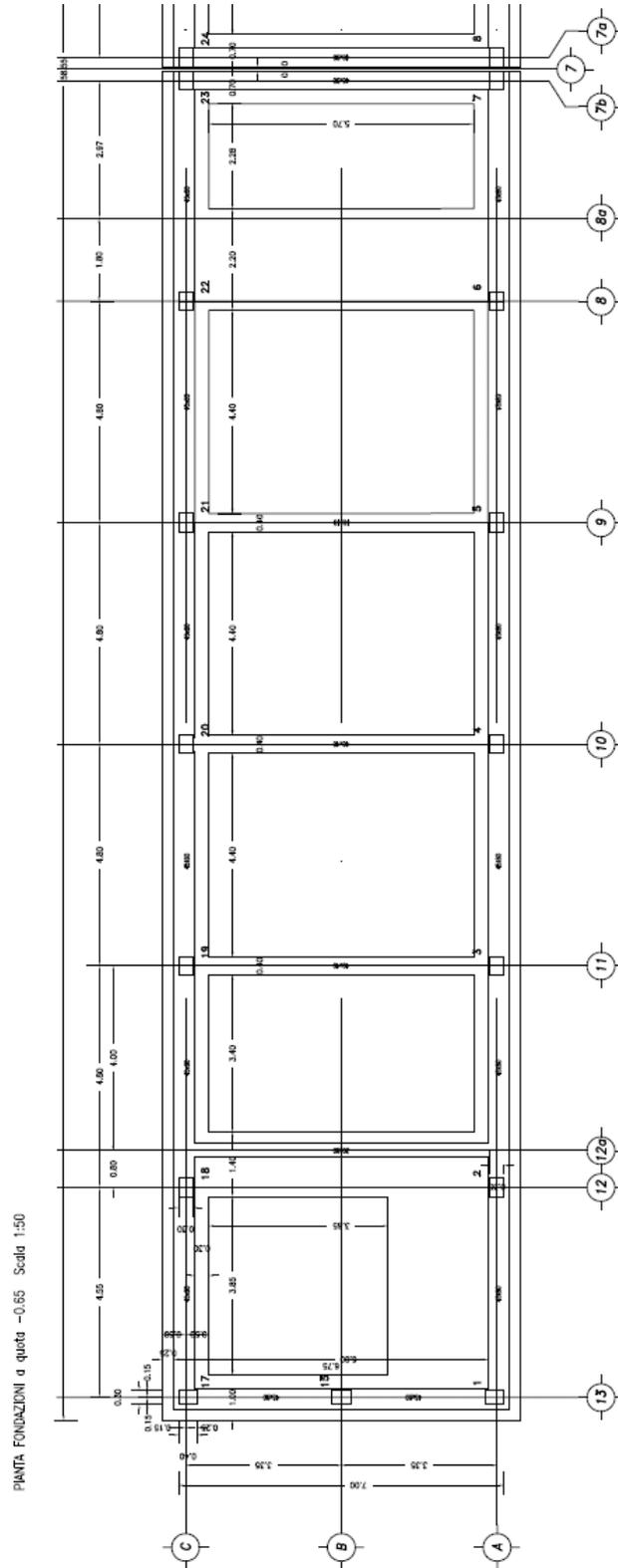


Fig. 2 – Pianta fondazioni

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|--------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 9 di 121 | |

Il dimensionamento, le analisi e le verifiche delle strutture sono state condotte in accordo con le seguenti disposizioni normative:

- Legge n° 1086 del 05/11/1971
“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n° 64 del 02/2/1974
“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Ordinanza del 20/3/2003 n. 3274 e s.m.i.
“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.C.R. Regione Veneto 03/12/2003 n. 67
Allegato 1 – Elenco dei comuni classificati in zona sismica.
- Decreto Ministeriale 14/1/2008
“Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 02/2/2009, n°617
Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14/1/2008
- UNI – EN 206-1: 2206
Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- UNI 11104: 2004
Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1..

4 VITA NOMINALE E CLASSE D’USO DELL’OPERA

Con riferimento alla destinazione d’uso e alle conseguenze di un’eventuale interruzione di operatività o collasso del fabbricato, sono stati definiti i parametri di base della progettazione strutturale, con particolare riguardo all’azione sismica (punto 2.4 NTC 2008):

- “vita nominale” $V_N = 100$ anni
- “classe d’uso” III, con coefficiente d’uso $C_U = 1,5$
- “periodo di riferimento per l’azione sismica”: $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 10 di 121 | |

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle strutture sono:

- Conglomerato cementizio magro per getti di sottofondo e livellamento: C 12/15
- Conglomerato cementizio per fondazioni: C 25/30
- Conglomerato cementizio pilastri: C 32/40
- Conglomerato cementizio per travi, catena, monaco e solai: C 28/35
- Conglomerato cementizio per cornicione: C 32/40
- Armatura per calcestruzzo armato: B450 C

sulle quali si riportano alcune considerazioni esplicative in merito al criterio di scelta, operata sulla base dei requisiti di resistenza e durabilità delle strutture.

Per il magrone non ci sono particolari esigenze di resistenza e durabilità; pertanto gli sono state attribuite la classe di esposizione X0 tipica delle strutture non armate e la classe di consistenza S3 tipica di getti che non presentano difficoltà di compattazione nella posa in opera. Per le fondazioni è adottata la classe di resistenza C 25/30 che soddisfa in pari misura sia le esigenze statiche che di durabilità; essendo interrate e a contatto con l'acqua assorbita dal terreno circostante per lunghi periodi di tempo, le fondazioni sono esposte al rischio di corrosione delle armature per carbonatazione del cls, con classe di esposizione XC2. Pilastri, travi in elevazione e solaio non presentano particolari rischi di esposizione ambientale dal momento che risultano interni al fabbricato oppure adeguatamente protetti, i pilastri dalla muratura di rivestimento, le travi e il solaio dalla impermeabilizzazione e dal manto di copertura; per questi elementi la classe del calcestruzzo è determinata dalle esigenze statiche, come si vedrà più avanti nei calcoli. Viceversa, per il cornicione risulta prevalente l'esigenza di garantirne la durabilità in quanto ciclicamente asciutto e bagnato e quindi esposto al rischio di corrosione delle armature per carbonatazione con classe di esposizione XC4; da qui la prescrizione del calcestruzzo C32/40 pur trattandosi di una struttura secondaria.

La seguente tabella riporta il dettaglio delle caratteristiche prescritte.

| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 11 di 121 |

| CALCESTRUZZO - (D.M.14.01.2008 - UNI EN 206/1:2006 - UNI 11104:2004) | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|---|--|
| | CLASSE DI RESISTENZA ADOTTATA | CLASSE DI ESPOSIZIONE | MAX RAPPORTO A/C | MIN CONTENUTO CEMENTO (kg/mc) | CEMENTO TIPO - CEM | MIN CONTENUTO D'ARIA (%) | MAX CONTENUTO CLORURI (%) | MAX DIMENSIONE INERTI (mm) | CLASSE DI CONSISTENZA | MIN COPRIFERRO NETTO (mm) | CLASSE DI RESISTENZA MINIMA PER ESPOSIZIONE | |
| MAGRONE | C 12/15 | X0 | 0,60 | 200 | II - 42,5 | - | 1,0 | 30 | S3 | - | C 12/15 | |
| FONDAZIONI | C 25/30 | XC2 | 0,60 | 300 | II - 42,5 | - | 0,2 | 25 | S4 | 40 | C 25/30 | |
| PILASTRI | C 32/40 | XC3 | 0,55 | 320 | II - 42,5 | - | 0,2 | 25 | S4 | 40 | C 28/35 | |
| TRAVI , CATENA, MONACO E SOLAIO | C 28/35 | XC3 | 0,55 | 320 | II - 42,5 | - | 0,2 | 25 | S4 | 40 | C 28/35 | |
| CORNICIONE | C 32/40 | XC4 | 0,50 | 340 | II - 42,5 | - | 0,2 | 25 | S4 | 45 | C 32/40 | |

| ACCIAIO di armatura - (D.M.14.01.2008) | | | | |
|---|-----------------------|--------|---------------------------------------|-------------------|
| per C.A. normale in BARRE, RETI E TRALICCI | B450C | | $\Phi \geq 6$ mm $\Phi \leq 40$ mm | |
| | f_{tk} | \geq | 540 | N/mm ² |
| | f_{yk} | \geq | 450 | N/mm ² |

Tabella 1: Caratteristiche dei materiali

Per le strutture in condizioni ambientali ordinarie (XC2: fondazioni e XC3: pilastri, travi, catena, monaco, solaio) è indicato il copriferro netto di 40 mm sulla barra più esterna, che risulta maggiorato di 10 mm rispetto a quello minimo di normativa (25 mm: $C_{min} = C25/30$, ambiente ordinario, elementi monodimensionali) in relazione alla vita nominale di 100 anni richiesta per l'opera e di ulteriori 5 mm per le tolleranze di posa; queste sono da ritenersi minime per costruzioni sottoposte a controllo di qualità in cantiere tra le quali verosimilmente rientra anche l'intervento in esame. Analogamente, per il cornicione, in condizioni ambientali aggressive (XC4), è indicato il copriferro netto di 45 mm sulla barra più esterna, che risulta maggiorato di 10 mm rispetto a quello minimo di normativa (30 mm: $C_{min} = C25/30$, ambiente aggressivo, elementi bidimensionali) benché ne sia prevista l'impermeabilizzazione in estradosso, e di ulteriori 5 mm per le tolleranze di posa. In ogni caso il copriferro adottato garantisce la protezione delle

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 12 di 121 |

armature, peraltro di piccolo/medio diametro e quindi ben avvolte dal calcestruzzo, e di allungare il tempo impiegato dalle sostanze potenzialmente aggressive a raggiungerle, favorendo così la durabilità dell'opera.

Nella tabella sono anche indicati il diametro massimo degli inerti di 25 mm e la classe di consistenza S4. Quest'ultima è ritenuta la più idonea a garantire la lavorabilità necessaria affinché il calcestruzzo possa sviluppare la resistenza prevista anche attraverso un'efficace compattazione, operazione che in quest'opera risulta agevolata essendo i getti frazionati in modesti volumi, eseguiti all'interno di elementi mediamente armati e in spessori generalmente contenuti ma non troppo sottili.

6 PARAMETRI GEOTECNICI

Per quanto riguarda i criteri di scelta dei parametri geotecnici del terreno da impiegare per la fondazione superficiale di quest'opera, si osserva che il fabbricato sorge sul rilevato di piazzale alto 1,85 m sul piano di campagna e che il progetto geotecnico prevede uno strato di bonifico di 1,30 m al di sotto del piano di campagna. Considerato che il piano d'appoggio è posto a 1,15 m al di sotto del piano finito (0,00) del piazzale, ne consegue che al di sotto del piano di appoggio delle fondazioni è presente uno strato di 2,00 m di materiale riportato; quindi il terreno di appoggio è costituito dal rilevato. La situazione è schematicamente illustrata nella seguente figura.

| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABBRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 13 di 121 |

PT 19+840

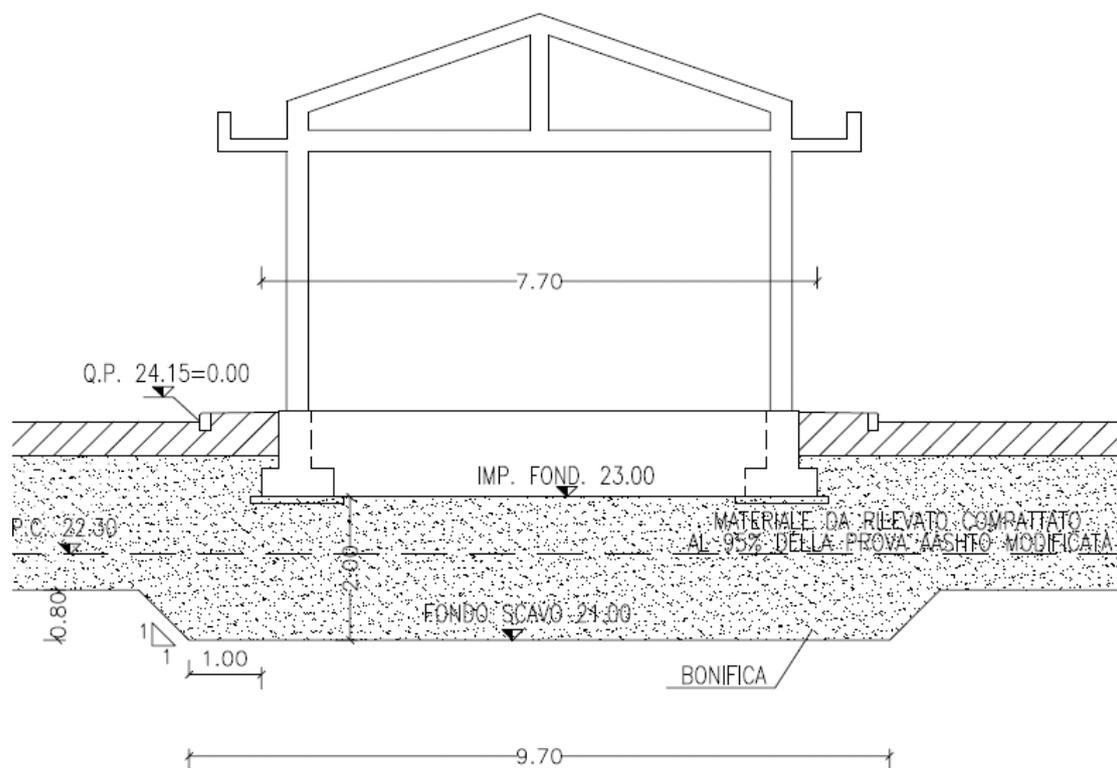


Fig. 4 – Sezione geotecnica

Per la costruzione del rilevato saranno adottati materiali e tecnologie atti a garantirne le elevate prestazioni richieste dall'esercizio ferroviario; tuttavia, nei riguardi del fabbricato, saranno considerate cautelativamente le seguenti caratteristiche tipiche del materiale da rilevato e da bonifico:

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $c' = 0 \text{ kPa}$ | coesione drenata |
| $\varphi' = 35^\circ$ | angolo di attrito interno |
| $K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$ | costante elastica di Winkler |

Ancor più cautelativamente, per le verifiche della capacità portante sarà considerato reagente il terreno in situ al quale il progetto geotecnico attribuisce una pressione ammissibile compresa tra 50 e 60 kN/m², da confrontare con le pressioni medie indotte dalla struttura nelle combinazioni caratteristiche delle azioni.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 14 di 121 | |

7 ANALISI DELLE AZIONI

Le azioni considerate nel calcolo della struttura sono le seguenti:

- pesi propri dei materiali strutturali;
- carichi permanenti non strutturali;
- carichi variabili dovuti alla destinazione d'uso;
- azione della neve;
- azione del vento;
- azione sismica.

stimate in conformità alla normativa di riferimento e di seguito valutate nel loro valore unitario per le azioni statiche e nei parametri fondamentali per le azioni sismiche.

7.1 AZIONI STATICHE

7.1.1 PESI PROPRI STRUTTURALI (G1)

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| - Calcestruzzo armato | 25,00 kN/m ³ |
| - Solaio di copertura (H=20+4) cm | 3,00 kN/m ² |
| - Calcestruzzo "leggero" per massetti | 15,00 kN/m ³ |
| - Calcestruzzo ordinario per massetti | 24,00 kN/m ³ |
| - Vespaio in pietrame o ciottoli | 16,00 kN/m ³ |
| - Misto di sabbia e cemento | 20,00 kN/m ³ |

7.1.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2)

Copertura

- | | |
|--|------------------------|
| - massetto di livellamento in cls "leggero" (s=2 cm) | 0,30 kN/m ² |
| - pannello coibentazione | 0,20 kN/m ² |
| - guaina impermeabilizzazione | 0,20 kN/m ² |
| - manto di copertura | 0,80 kN/m ² |
| - intonaco in intradosso | 0,30 kN/m ² |
| totale | 1,80 kN/m ² |

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 15 di 121 |

Cornicione

| | |
|---|------------------------|
| - massetto pendenze in cls "leggero" (s=6,5 cm medio) | 1,00 kN/m ² |
| - guaina impermeabilizzazione | 0,20 kN/m ² |
| totale | 1,20 kN/m ² |

Calpestio (quota parte al di sopra delle ali esterne delle travi perimetrali a T rovescia)

| | |
|--|-------------------------|
| - vespaio in pietrame (s=60 cm) | 9,60 kN/m ² |
| - massetto in cls armato (s=10 cm) | 2,50 kN/m ² |
| - allettamento (s= 6,5 cm) | 1,30 kN/m ² |
| - pavimento in piastrelle cemento (3,5 cm) | 0,90 kN/m ² |
| totale | 14,30 kN/m ² |

Calpestio (quota parte al di sopra dell'anima delle travi interne a T rovescia)

| | |
|-----------------------|------------------------|
| - pavimento flottante | 1,00 kN/m ² |
|-----------------------|------------------------|

Calpestio (quota parte al di sopra delle ali interne di tutte le travi a T rovescia e sulle travi di collegamento interne)

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| - soletta in c.a. (s=20 cm) | 5,00 kN/m ² |
| - pavimento flottante | 1,00 kN/m ² |
| totale | 6,00 kN/m ² |

Calpestio (quota parte al di sopra delle travi di fondazione interne)

| | |
|---|------------------------|
| - Carico impianti fissi uniformemente distribuito | 5,00 kN/m ² |
|---|------------------------|

Muratura di tamponamento perimetrale

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| - blocchi di cls splittati (s=20 cm) | 2,55 kN/m ² |
| - pannelli coibentazione (s=5 cm) | 0,15 kN/m ² |
| - blocchi di cls standard (s=15 cm) | 2,00 kN/m ² |
| - intonaco interno | 0,30 kN/m ² |
| totale | 5,00 kN/m ² |

Muratura divisoria interna

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| - blocchi di cls standard (s=15 cm) | 2,00 kN/m ² |
|-------------------------------------|------------------------|

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 16 di 121 | |

- intonaco su due lati 0,60 kN/m²
- totale 2,60kN/m²

7.1.3 CARICHI VARIABILI (Q_K)

Copertura

- Carico uniformemente distribuito 0,50 kN/m²
- Carico concentrato, per verifiche locali 1,20 kN su impronta di 50x50 cm

7.1.4 CARICO DELLA NEVE (Q_N)

Il sovraccarico della neve sulle coperture è stato determinato in funzione del luogo di ubicazione e delle caratteristiche del fabbricato, con l'espressione:

$$q_s = \mu_1 \times q_{sk} \times C_e \times C_t$$

con i parametri di seguito specificati:

| | |
|--|------------------------|
| μ ₁ = coefficiente di forma della copertura (due falde con α<30°) | 0,8 |
| q _{sk} = valore caratteristico del carico della neve | |
| per il sito in esame (provincia di Verona), zona II, quota <200 m slm | 1,00 kN/m ² |
| C _e = coefficiente di esposizione | 1,0 |
| C _t = coefficiente termico | 1,0 |

Ne deriva un carico di neve, riferito alla proiezione orizzontale della copertura, generalmente pari a: $q_s = 0,8 \times 1,00 \times 1,0 \times 1,0 = 0,80 \text{ kN/m}^2$.

Si considera l'eventualità che il cornicione possa riempirsi completamente di neve. Assumendo un peso specifico convenzionale della neve di 2,00 kN/m³ ed essendo la veletta alta 65 cm (al finito), si valuta che sul cornicione agisca un sovraccarico di neve di 1,30 kN/m².

7.1.5 AZIONE DEL VENTO (Q_V)

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABBRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 17 di 121 | |

L'azione del vento è assimilata ad una azione statica equivalente applicata normalmente alle superfici esposte, considerando i casi di pressione e depressione, con la:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

con i parametri di seguito specificati:

$$q_b = \text{pressione cinetica di riferimento} = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = 440 \text{ N/m}^2$$

essendo

ρ è la densità dell'aria assunta pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$

v_b è la velocità di riferimento del vento; per il sito in esame (Veneto, zona 1, altitudine inferiore a 1000 m s.l.m.) vale 25 m/s se riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni; per un periodo di ritorno di 150 anni detto valore moltiplicato per $\alpha_R = 1,061$ e quindi $v_b = 25 \times 1,061 = 26,53 \text{ m/s}$

C_e = coefficiente di esposizione

il sito in esame

distanza dal mare > 30 km, altitudine < 500 m, classe di rugosità del terreno D, risulta nella categoria di esposizione II, con i seguenti parametri:

$$k_r = 0,19 \quad z_0 = 0,05 \text{ m} \quad z_{\min} = 4 \text{ m}$$

e il coefficiente di topografia $C_t = 1$

Assumendo l'altezza del fabbricato al colmo della copertura, $z=5,70 \text{ m}$, si determina

$$C_e = k_r^2 C_t \ln(z/z_0) \times [(7 + C_t \ln(z/z_0))] = 2,00$$

C_p = coefficiente di forma

pareti sopravento: 0,8; pareti sottovento e copertura: -0,4; interno: $\pm 0,2$

C_d = coefficiente dinamico: 1,0

In definitiva si ottengono i seguenti valori della pressione del vento:

$$\text{parete sopravento: } p = 0,440 \times 2,0 \times 0,8 \times 1,0 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{parete sottovento: } p = -0,440 \times 2,0 \times 0,4 \times 1,0 = -0,36 \text{ kN/m}^2$$

| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 18 di 121 |

interno: $p = \pm 0,440 \times 2,0 \times 0,2 \times 1,0 = \pm 0,18 \text{ kN/m}^2$
 copertura: $p = -0,440 \times 2,0 \times 0,4 \times 1,0 = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Si osserva che l'azione del vento sulla copertura ha segno opposto e valore di gran lunga inferiore ai carichi gravitazionali e quindi può essere trascurata. Si osserva inoltre che la pressione esterna ed interna può dar luogo a due diverse situazioni per gli effetti locali sulle pareti:

sopravento $(0,72+0,18) = 0,90 \text{ kN/m}^2$ sottovento $(-0,36+0,18) = -0,18 \text{ kN/m}^2$
 sopravento $(0,72-0,18) = 0,54 \text{ kN/m}^2$ sottovento $(-0,36-0,18) = -0,54 \text{ kN/m}^2$

mentre per l'effetto globale sulla struttura si può considerare la situazione intermedia:

sopravento: $0,72 \text{ kN/m}^2$ sottovento: $-0,36 \text{ kN/m}^2$

7.1.6 AZIONE SISMICA (E)

Il Comune sede dell'opera è classificato in zona sismica 3 (D.C.R. Veneto 67/2003).

Il quadro di riferimento adottato per l'azione sismica è completamente definito nella Relazione sismica di progetto, la quale, anche per i fabbricati tecnologici, prevede: la "vita nominale" $V_N = 100$ anni; la "classe d'uso" III, con coefficiente d'uso $C_U = 1,5$; il "periodo di riferimento": $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni.

Sulla base di questi dati e sulla base delle coordinate specifiche del sito in esame:

Longitudine: 11,1528 Latitudine: 45,2317

utilizzando gli spettri di normativa, sono stati ricavati i parametri sismici per le verifiche dell'opera nei diversi stati limite; si tratta di: accelerazione orizzontale massima riferita al suolo rigido " a_g "; fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale " F_0 "; periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale " T_c^* "; i parametri sono riassunti nella seguente tabella:

| STATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO | 90 | 0,052 | 2,526 | 0,280 |
| SLD | 151 | 0,063 | 2,594 | 0,283 |
| SLV | 1424 | 0,147 | 2,516 | 0,305 |
| SLC | 2475 | 0,179 | 2,480 | 0,308 |

| | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 19 di 121 |

Tabella 2: Parametri a_g , F_0 , T_c^* in funzione degli stati limite, al variare del periodo di ritorno T_R

L'azione sismica così individuata viene corretta per tener conto delle effettive condizioni locali, stratigrafiche (categoria di sottosuolo "C") e topografiche (superficie pianeggiante), attraverso i coefficienti correttivi che amplificano l'accelerazione riferita al suolo rigido determinando l'accelerazione di progetto: $a_{max} = S_x a_g (T=0)$:

| STATO LIMITE | Coefficiente stratigrafico S_S | Coefficiente topografico S_T | Coefficiente di sito $S_x = S_S \times S_T$ | $a_g(g)$ | $a_{max}(g)$ |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------|--------------|
| SLO | 1,500 | 1,0 | 1,500 | 0,052 | 0,078 |
| SLD | 1,500 | 1,0 | 1,500 | 0,063 | 0,095 |
| SLV | 1,478 | 1,0 | 1,478 | 0,147 | 0,217 |
| SLC | 1,434 | 1,0 | 1,434 | 0,179 | 0,257 |

Tabella 3: Coefficienti correttivi locali e accelerazioni massime

Gli stati limite adottati per la verifica sismica sono:

- SLV (stato limite di salvaguardia della vita), per le verifiche delle strutture nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU);
- SLD (stato limite di danno), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termini di resistenza;
- SLO (stato limite di operatività), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termine di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti in termini di mantenimento della funzionalità);

a ciascuno dei quali è associata una probabilità (crescente) di superamento dell'evento nel periodo di riferimento P_{VR} . Nelle figure 5, 6 e 7, alle pagine seguenti, si riportano i corrispondenti spettri elastici.

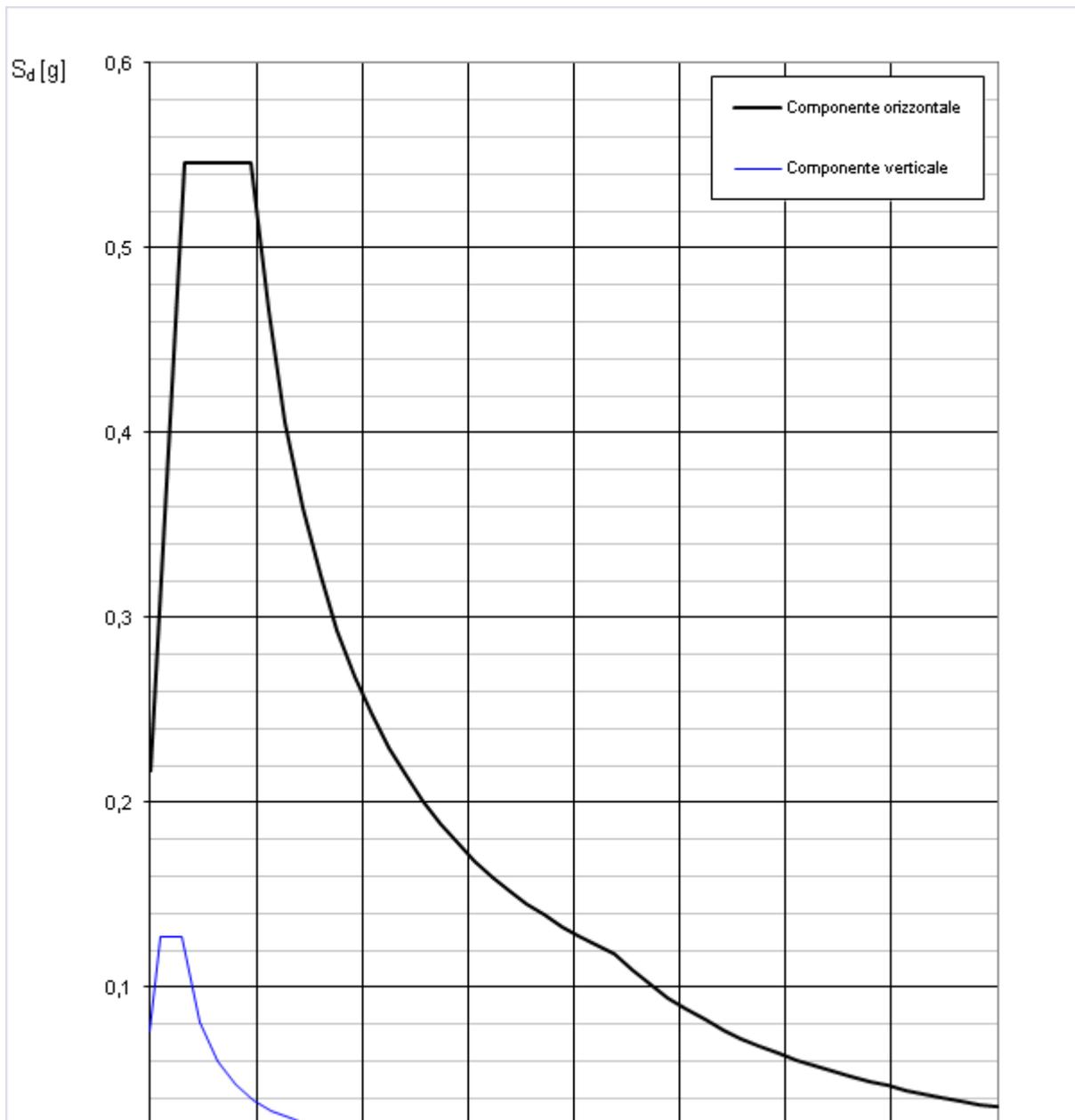


Figura 5: Spettro elastico SLV

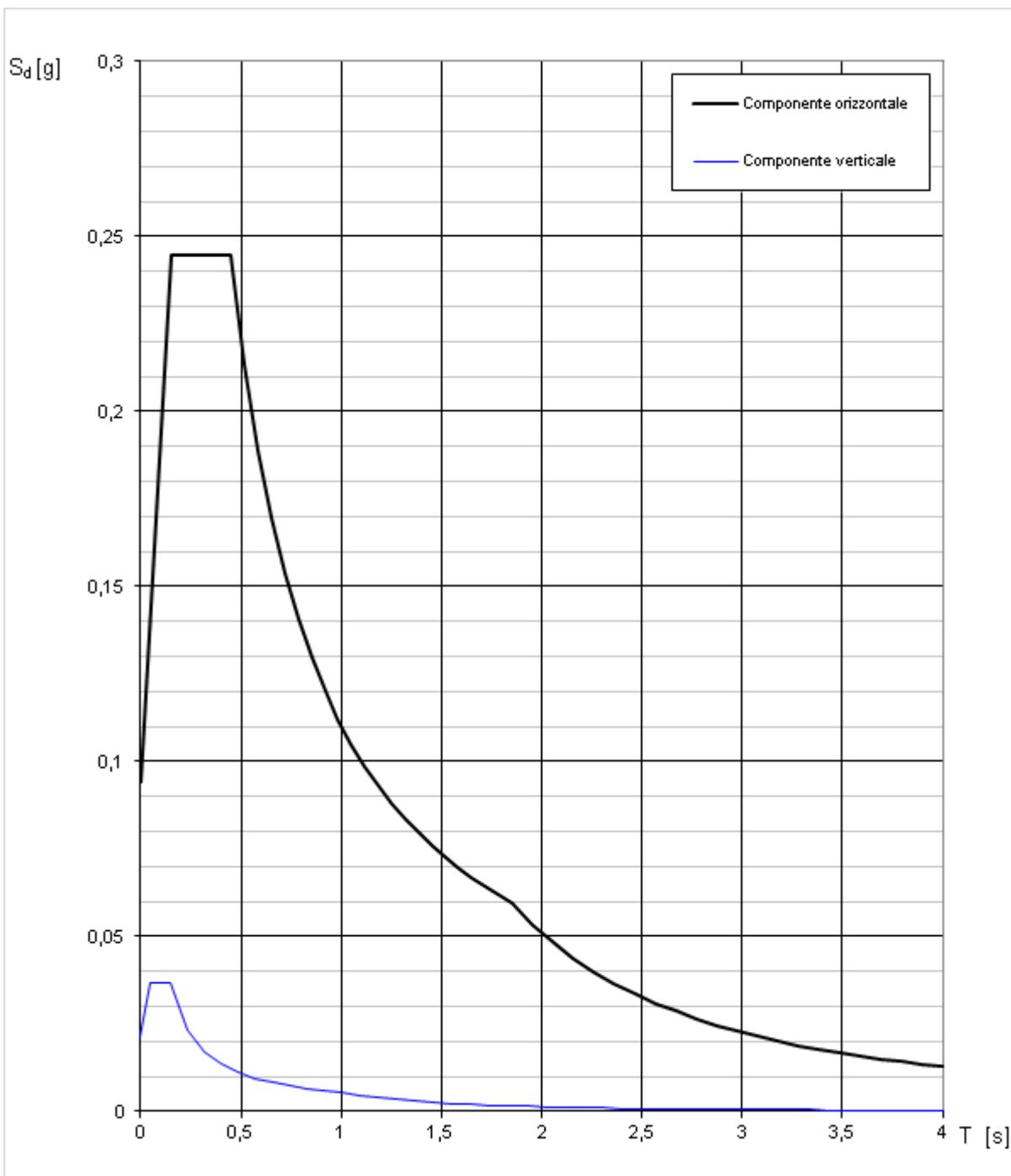


Figura 6: Spettro elastico SLD

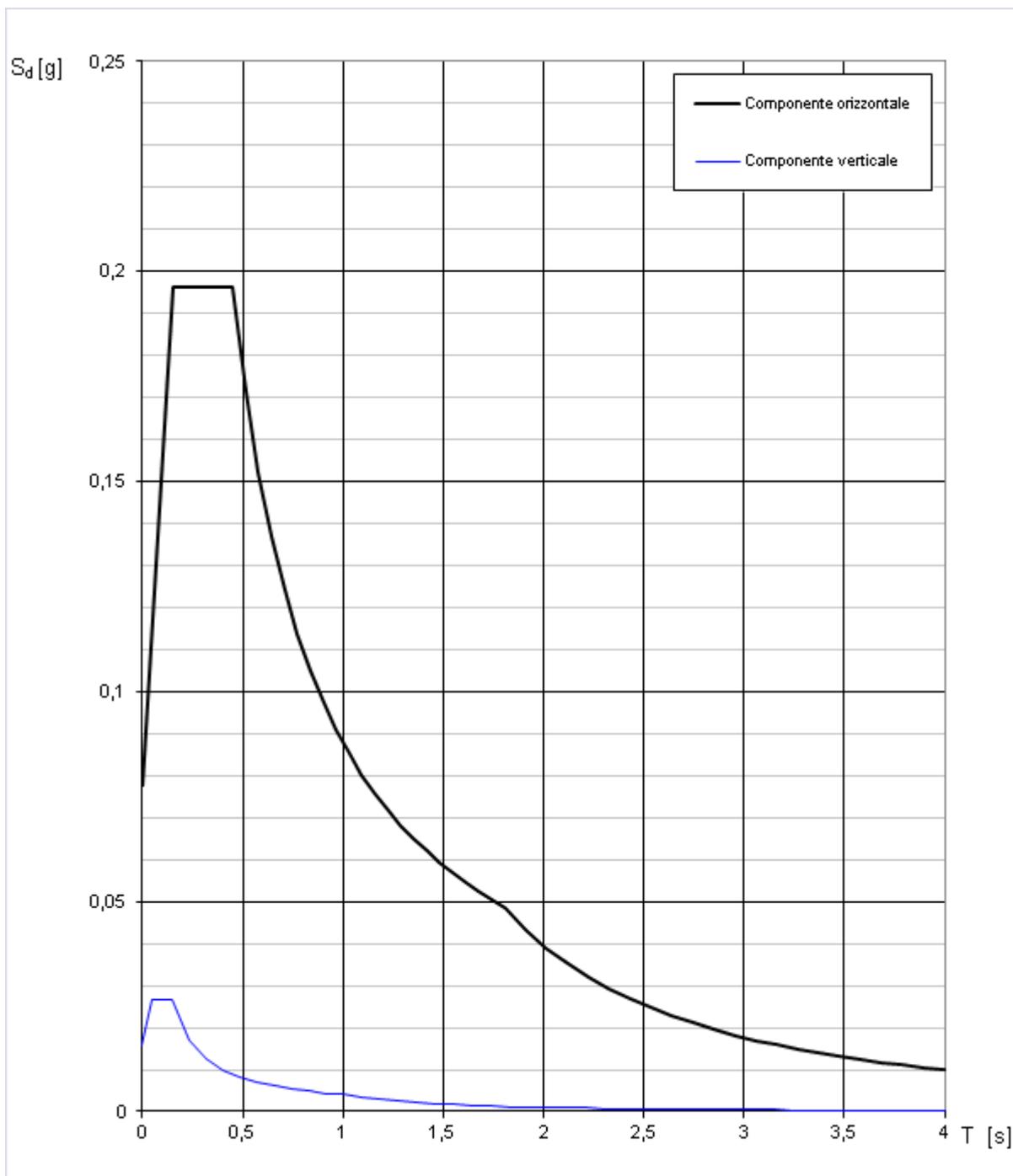


Figura 7: Spettro elastico SLO

La risposta alle azioni sismiche viene calcolata separatamente per due componenti orizzontali tra loro ortogonali mentre la componente verticale non viene considerata in quanto la costruzione sorge in Zona 3 (vedi 3.2.3.1 e 7.2.1 NTC 2008). In ogni caso,

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 23 di 121 | |

come si vedrà, le catene assorbono la spinta dovuta alla pendenza della copertura e i monaci che vi appoggiano risultano pressoché scarichi.

Gli effetti delle due componenti sono poi combinati con la:

$$(1,00 E_x + 0,30 E_y)$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi per l'individuazione degli effetti più gravosi.

Lo spettro di progetto per le verifiche delle strutture agli stati limite ultimi (SLU) viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLV prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura specifico per la struttura in esame. In questo caso si considerano i seguenti parametri di calcolo:

- tipologia strutturale: struttura in c.a. a telaio di un piano
- classe di duttilità: B
- coefficiente di base: 3,0
- rapporto di duttilità: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,05$ (costruzione non regolare in pianta)
- fattore riduttivo: $k_R = 1,0$ (costruzione regolare in altezza)

dai quali risulta il fattore di struttura:

$$q = q_0 \times k_R = 3,0 \times 1,05 \times 1,0 = 3,15$$

per ciascuna direzione del sisma orizzontale. Per l'azione sismica verticale il coefficiente di struttura è $q = 1,5$.

Di seguito si riporta lo spettro di progetto SLV:

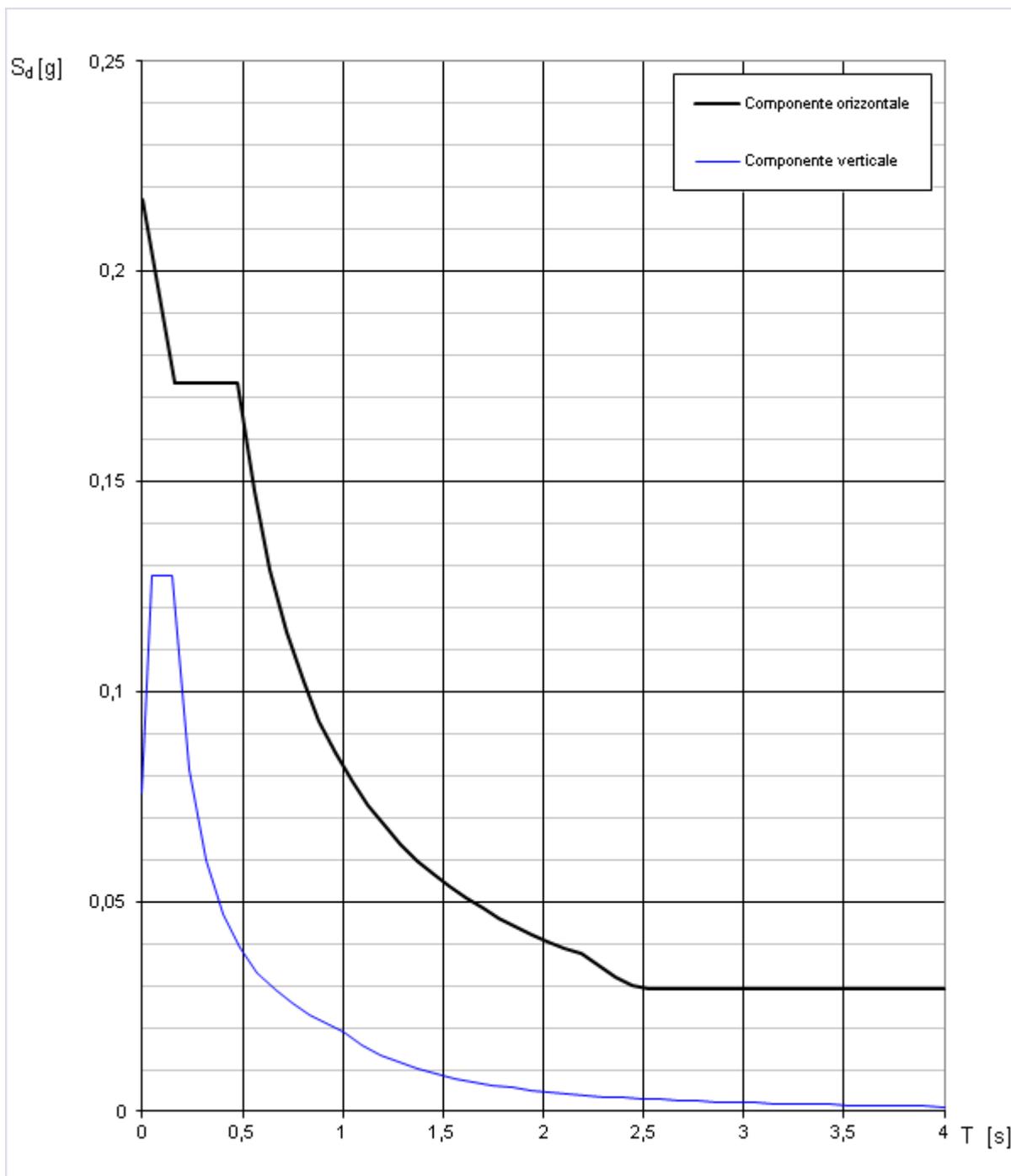


Figura 8: Spettro di progetto SLV, SLU delle strutture

Lo spettro di progetto per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di resistenza viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLD prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura $q=1/\eta=1/(2/3)=1,5$, di seguito riportato:

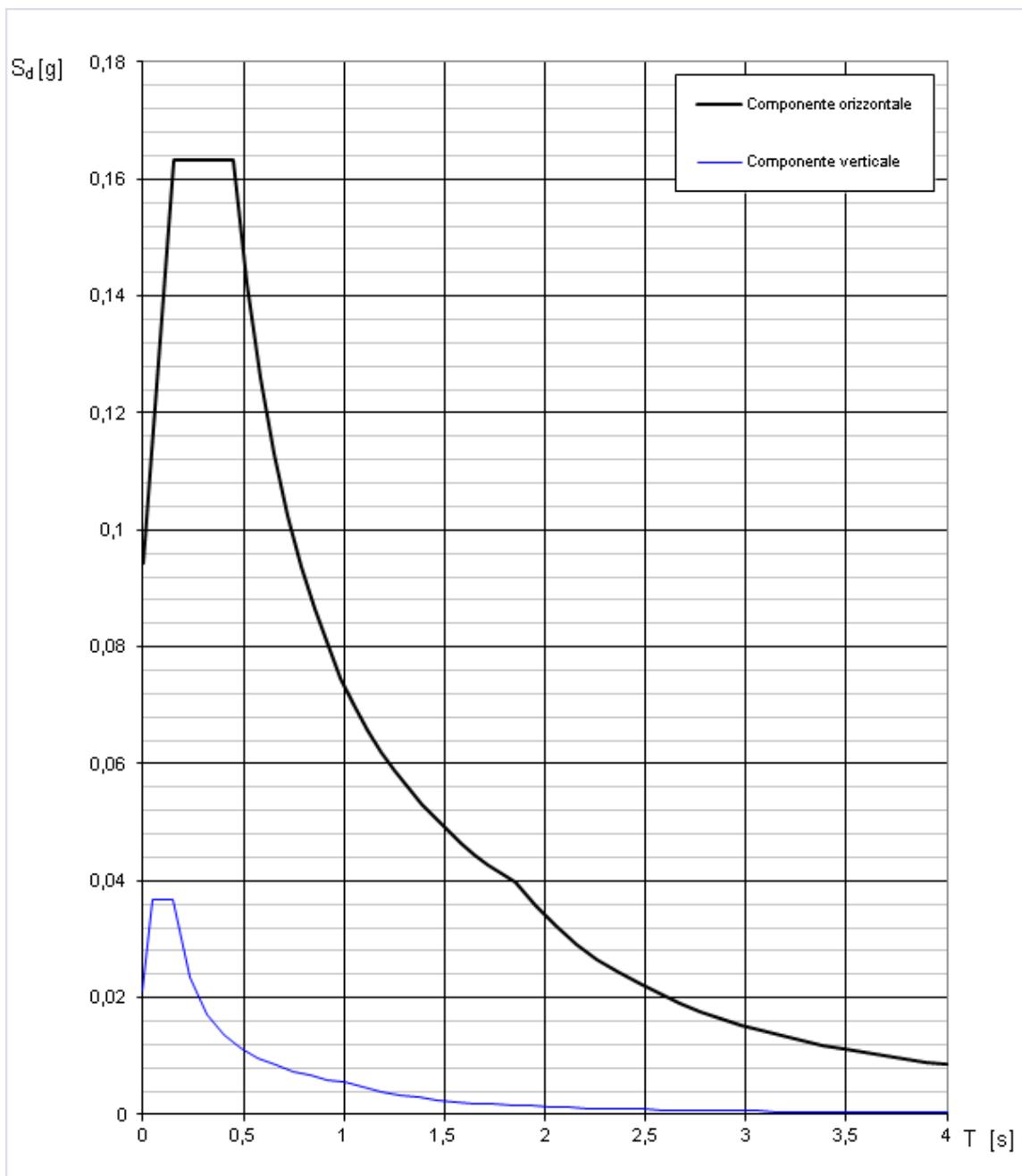


Figura 9: Spettro di progetto SLD, SLE delle strutture in termini di resistenza

Per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti interni di mantenimento della funzionalità) lo spettro di progetto coincide con quello elastico SLO prima riportato.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 26 di 121 | |

8 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le azioni elementari prima analizzate vengono combinate in modo da determinare le condizioni più gravose per ciascuna verifica, secondo le contemporaneità prescritte dalla Normativa vigente.

Per le verifiche strutturali e geotecniche agli stati limite ultimi per azioni statiche e per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica vengono considerate le seguenti combinazioni:

- Fondamentale (SLU) (2.5.1 del DM/08)
- Sismica (2.5.5 del DM/08)

segundo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali riassunti nelle seguenti tabelle:

| AZIONE | | Coeff. Parziale $\gamma_E - A1$ (STR) |
|--|---------------|---------------------------------------|
| Permanente sfavorevole | γ_{G1} | 1,30 |
| Permanente favorevole | | 1,00 |
| Permanente non strutturale sfavorevole | γ_{G2} | 1,30 (v. precisazioni seguenti) |
| Permanente non strutturale favorevole | | 0.00 |
| Variabile sfavorevole | γ_Q | 1.50 |
| Variabile favorevole | | 0.00 |

Tabella 4: Coefficienti parziali per le azioni – Rif. Tab. 2.6.I del DM 14/1/2008

| PARAMETRO | | Coefficiente |
|---|----------------|--------------|
| | | M1 |
| Tangente angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$ | 1.00 |
| Coesione efficace | c'_k | 1.00 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | 1.00 |
| Peso dell'unità di volume | γ | 1.00 |

Tabella 5: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici – Rif. Tab. 6.2.II del DM 14/1/2008

| VERIFICA | COEFF. PARZIALE γ_r |
|-------------------|----------------------------|
| | R3 |
| Capacità portante | 2,3 |

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 27 di 121 |

| | |
|-------------|-----|
| Scorrimento | 1,1 |
|-------------|-----|

Tabella 6: Coefficienti parziali per fondazioni superficiali – Rif. Tab. 6.4.I del DM 14/1/2008

e con le seguenti precisazioni:

- nelle combinazioni impiegate per le verifiche strutturali, il coefficiente γ_r non viene portato in conto, quindi combinazione (A1 + M1);
- per i permanenti portati si è assunto lo stesso coefficiente dei permanenti strutturali in quanto compiutamente definiti; si tratta infatti delle finiture della copertura e delle murature poste direttamente sulle travi di fondazione che non presentano aleatorietà e non sono suscettibili di significative modifiche nel tempo;
- per le combinazioni sismiche, i coefficienti parziali non nulli della Tab. 4 (azioni A1) saranno posti uguale a 1;
- per le combinazioni sismiche risultano nulli tutti i coefficienti di combinazione Ψ_2 della successiva Tab. 7 e quindi si esclude la contemporaneità del sisma con i sovraccarichi accidentali.

Per le verifiche strutturali agli stati limite di esercizio per azioni statiche vengono considerate le seguenti combinazioni:

- Caratteristica (rara) (SLE) (2.5.2 del DM/08) per le tensioni nei materiali
- Frequente (2.5.3 del DM/08) per la fessurazione
- Quasi permanente (2.5.4 del DM/08) per la fessurazione

con i coefficienti di combinazione riassunti nella seguente tabella:

| AZIONE | COEFF. DI COMBINAZIONE | | |
|--------------------------------|------------------------|----------|----------|
| | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| Categoria H Coperture | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vento | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Neve (a quota < 1000 m s.l.m.) | 0,5 | 0,2 | 0,0 |

Tabella 7: Coefficienti di combinazione per le azioni variabili – Rif. Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Il dettaglio delle combinazioni considerate viene esposto nella seguente tabella, separatamente per quelle statiche e sismiche.

| COMBINAZIONE | | AZIONE | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|--------------------|------------------|-------------------|---------|----------------------|----------------------|
| Numero | Nome | Perm. Strutture G1 | Perm. Portati G2 | Acc. H Copert. Qk | Neve Qn | Vento direz. X Qv, X | Vento direz. Y Qv, Y |
| da 1 a 8, azioni statiche elementari | | | | | | | |
| 9 | SLU 1 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 0,75 | 0,9 | 0 |
| 10 | SLU 2 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 0,75 | -0,9 | 0 |
| 11 | SLU 3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 0,75 | 0 | 0,9 |
| 12 | SLU 4 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 0,75 | 0 | -0,9 |
| 13 | SLU 5 | 1,3 | 1,3 | 0 | 1,5 | 0,9 | 0 |
| 14 | SLU 6 | 1,3 | 1,3 | 0 | 1,5 | -0,9 | 0 |
| 15 | SLU 7 | 1,3 | 1,3 | 0 | 1,5 | 0 | 0,9 |
| 16 | SLU 8 | 1,3 | 1,3 | 0 | 1,5 | 0 | -0,9 |
| 17 | SLU 9 | 1,3 | 1,3 | 0 | 0,75 | 1,5 | 0 |
| 18 | SLU 10 | 1,3 | 1,3 | 0 | 0,75 | -1,5 | 0 |
| 19 | SLU 11 | 1,3 | 1,3 | 0 | 0,75 | 0 | 1,5 |
| 20 | SLU 12 | 1,3 | 1,3 | 0 | 0,75 | 0 | -1,5 |
| 21 | SLE RA 1 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0,6 | 0 |
| 22 | SLE RA 2 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | -0,6 | 0 |
| 23 | SLE RA 3 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0 | 0,6 |
| 24 | SLE RA 4 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0 | -0,6 |
| 25 | SLE RA 5 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,6 | 0 |
| 26 | SLE RA 6 | 1 | 1 | 0 | 1 | -0,6 | 0 |
| 27 | SLE RA 7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,6 |
| 28 | SLE RA 8 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | -0,6 |
| 29 | SLE RA 9 | 1 | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 0 |
| 30 | SLE RA 10 | 1 | 1 | 0 | 0,5 | -1 | 0 |
| 31 | SLE RA 11 | 1 | 1 | 0 | 0,5 | 0 | 1 |
| 32 | SLE RA 12 | 1 | 1 | 0 | 0,5 | 0 | -1 |
| 33 | SLE FR 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | SLE FR 2 | 1 | 1 | 0 | 0,2 | 0 | 0 |
| 35 | SLE FR 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,2 | 0 |
| 36 | SLE FR 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | -0,2 | 0 |
| 37 | SLE FR 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,2 |
| 38 | SLE FR 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -0,2 |
| 39 | SLE QP 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

NOTE:

- La numerazione delle combinazioni statiche coincide con quella del tabulato di calcolo.
- La CC 33 – SLE FR 1 risulta uguale alla CC 39 – SLE QP a causa del valore nullo del coefficiente parziale ψ_1 per il carico accidentale Qk.

Tabella 8a: Combinazioni considerate per gli stati limite da azioni statiche

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 29 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 29 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 29 di 121 | | |

| COMBINAZIONE | | AZIONE | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|--------------------|------------------|-------------------|---------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Numero | Nome | Perm. Strutture G1 | Perm. Portati G2 | Acc. H Copert. Qk | Neve Qn | Vento direz. X Qv, X | Vento direz. Y Qv, Y | Sisma orizz. X E, X | Sisma orizz. Y E, Y |
| da 40 a 43 azioni sismiche elementari | | | | | | | | | |
| vedi nota | SLV | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 e -1 | +0,3 e -0,3 |
| | SLV | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,3 e -0,3 | +1 e -1 |
| | SLD | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 e -1 | +0,3 e -0,3 |
| | SLD | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,3 e -0,3 | +1 e -1 |
| | SLO | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 e -1 | +0,3 e -0,3 |
| | SLO | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,3 e -0,3 | +1 e -1 |

NOTA:

- Per la lista completa e la numerazione di dettaglio delle combinazioni sismiche si rinvia alla Tabella 11 del paragrafo 9.3

Tabella 8b: Combinazioni considerate per gli stati limite sismici (criterio generale)

9 ANALISI DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE

9.1 MODELLO E CODICE DI CALCOLO

La struttura in esame è stata schematizzata con un telaio spaziale e sottoposta ad analisi numerica mediante il programma di calcolo automatico agli elementi finiti, codice GT STRUDL del Georgia Institute of Technology, revisione 2.5 del 2000.

Data la perfetta simmetria dei due corpi separati dal giunto strutturale, tutti i calcoli che seguono prendono in considerazione uno solo di essi, per la precisione quello compreso tra i picchetti 13 e 7b, e i risultati si intendono estesi anche all'altro.

Il modello è composto da elementi monodimensionali disposti secondo le linee d'asse della struttura reale e descritto in un sistema di riferimento cartesiano mediante le coordinate dei nodi, le incidenze delle aste, le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali ed i materiali corrispondenti a quelli indicati negli elaborati grafici di progetto. Il modello comprende anche le travi rovesce di fondazione mentre la reattività verticale offerta dal terreno di base è stata modellata con molle alla Winkler con costante elastica $K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$ determinata sulla base dei parametri geotecnici.

Nelle seguenti figure è illustrato uno stralcio del modello di calcolo che si riferisce ai livelli della fondazione, delle catene e della copertura, con:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 30 di 121 | |

- in linea sottile nera la mesh, i fili strutturali della carpenteria, le misure in pianta e le quote (Z);
- Il sistema di riferimento OXY che ha origine nell'asse del pilastro 1 di carpenteria, asse X parallelo al lato maggiore del fabbricato e asse Y ortogonale al primo;
- in nero la numerazione dei 143 nodi, in rosso quella delle 187 aste;
- un pallino nero indica i nodi di estremità di ciascun elemento verticale, pilastro o monaco; il numero di ciascuno di essi coincide con il numero del nodo di estremità alla quota inferiore; ad esempio: il pilastro 1 è quello individuato dal nodo 1 nella mesh della fondazione; e ancora: il monaco 31 è quello individuato dal nodo 31 nella mesh del livello delle catene;
- la numerazione dei pilastri nel modello di calcolo (M) e nella di carpenteria (C) è associata come segue: 1M-1C; 2M-2C; 3M-3C; 4M-4C; 5M-5C; 6M-6C; 7M-7C; 8M-15C; 9M-17C; 10M-18C; 11M-19C; 12M-20C; 13M-21C; 14M-22C; 15M-23C; nel seguito i pilastri saranno richiamati con la numerazione del modello di calcolo;
- in rosso la numerazione delle aste, nell'ordine: travi d'imposta e catene, quindi le travi di falda, di displuvio e di colmo;
- la struttura in elevazione si compone quindi di 43 nodi e 67 aste;
- la fondazione è schematizzata con un elevato numero di aste (120) in funzione del passo delle molle, quasi ovunque pari a 1,20 m per le travi portanti perimetrali e pari a 0,60 m circa per le travi di collegamento trasversali interne; pertanto sullo schema viene riportato il numero della prima e dell'ultima asta che compongono ciascuna trave reale.

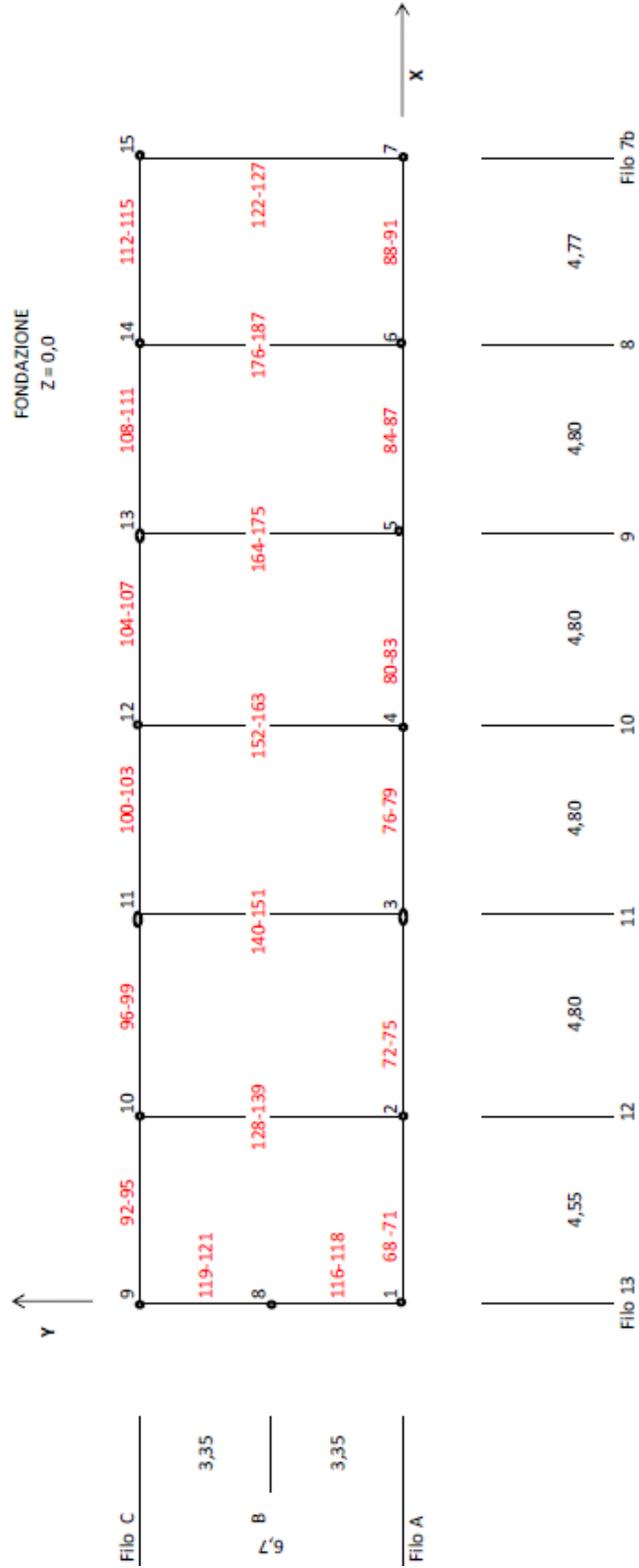


Fig. 10 – Mesh fondazione

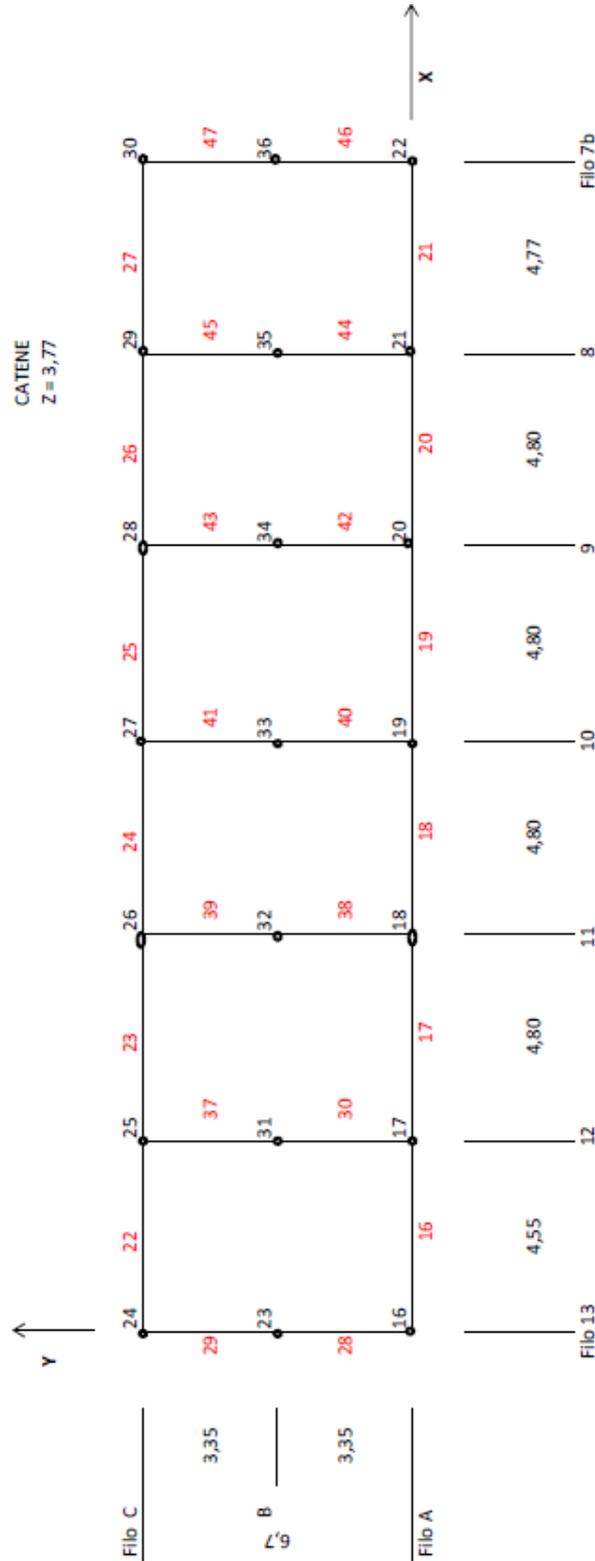


Fig. 11 – Mesh livello catene

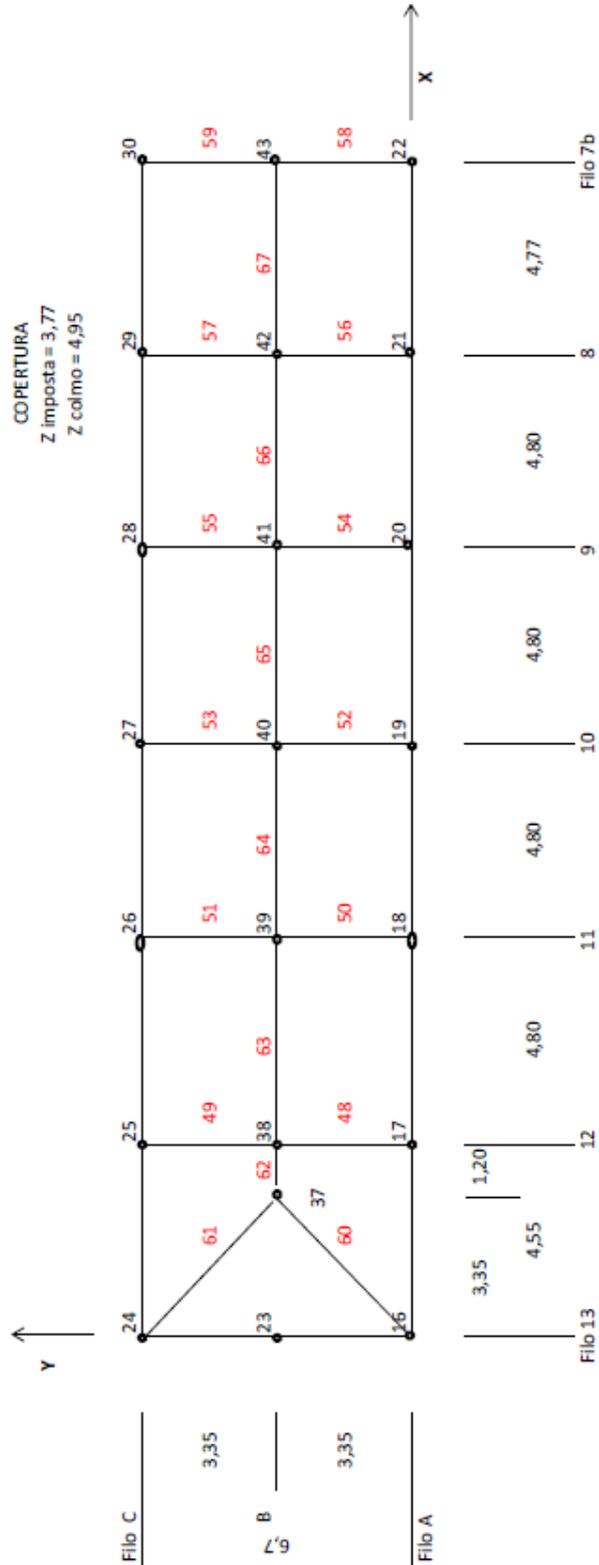


Fig. 12 – Mesh copertura

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 34 di 121 |

9.2 APPLICAZIONE DELLE AZIONI STATICHE

I carichi verticali vengono attribuiti alle diverse aste sulla base dei carichi unitari precedentemente analizzati e delle diverse aree di influenza.

Nella seguente tabella (frazionata su più pagine) sono riportati i carichi applicati alle travi della copertura.

| TRAVE DI FALDA fili 11, 10, 9, 8 | | | | | | | |
|---|-------|--------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | |
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) |
| 0,60 | 0,24 | | | | | | |
| peso proprio | | | | 3,60 | | | 3,60 |
| peso solaio | | 3,00 | 4,20 | 12,60 | 3,00 | 4,20 | 12,60 |
| peso cornicione | | 4,50 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 0,00 |
| totale G1 | | | | 16,20 | | | 16,20 |
| finitura copertura | | 1,80 | 4,80 | 8,64 | 1,80 | 4,80 | 8,64 |
| finitura cornicione | | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,00 |
| totale G2 | | | | 8,64 | | | 8,64 |
| totale Qk | | 0,50 | 4,80 | 2,40 | 0,50 | 4,80 | 2,40 |
| neve falde esterne | | 0,80 | 4,80 | 3,84 | 0,80 | 4,80 | 3,84 |
| neve cornicione | | 1,30 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,00 |
| falde est. tot. Qn | | | | 3,84 | | | 3,84 |

Tab. 9.1

| TRAVE DI FALDA filo 12 | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|--------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | |
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) |
| 0,60 | 0,24 | | | | | | |
| peso proprio | | | | 3,60 | | | 3,60 |
| peso solaio | | 3,00 | 3,85 | 11,55 | 3,00 | 2,50 | 7,50 |
| peso cornicione | | 4,50 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 0,00 |
| totale G1 | | | | 15,15 | | | 11,10 |
| finitura copertura | | 1,80 | 4,45 | 8,01 | 1,80 | 3,10 | 5,58 |
| finitura cornicione | | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,00 |
| totale G2 | | | | 8,01 | | | 5,58 |
| totale Qk | | 0,50 | 4,45 | 2,23 | 0,50 | 3,10 | 1,55 |
| neve falde esterne | | 0,80 | 4,45 | 3,56 | 0,80 | 3,10 | 2,48 |
| neve cornicione | | 1,30 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,00 |
| falde est. tot. Qn | | | | 3,56 | | | 2,48 |

Tab. 9.2

TRAVE DI FALDA filo 7

| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | |
|---------------------------|-------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) |
| 0,50 | 0,24 | | | | | | |
| peso proprio | | | | 3,00 | | | 3,00 |
| peso solaio | | 3,00 | 2,10 | 6,30 | 3,00 | 2,10 | 6,30 |
| peso cornicione | | 4,50 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 0,00 |
| totale G1 | | | | 9,30 | | | 9,30 |
| finitura copertura | | 1,80 | 2,60 | 4,68 | 1,80 | 2,60 | 4,68 |
| finitura cornicione | | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,00 |
| totale G2 | | | | 4,68 | | | 4,68 |
| totale Qk | | 0,50 | 2,60 | 1,30 | 0,50 | 2,60 | 1,30 |
| neve falde esterne | | 0,80 | 2,60 | 2,08 | 0,80 | 2,60 | 2,08 |
| neve cornicione | | 1,30 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,00 |
| falde est. tot. Qn | | | | 2,08 | | | 2,08 |

Tab. 9.3

TRAVE DISPLUVIO

| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | |
|---------------------------|-------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) |
| 0,60 | 0,24 | | | | | | |
| peso proprio | | | | 3,60 | | | 3,60 |
| peso solaio | | 3,00 | 4,30 | 12,90 | 3,00 | 0,40 | 1,20 |
| peso cornicione | | 4,50 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 0,00 |
| totale G1 | | | | 16,50 | | | 4,80 |
| finitura copertura | | 1,80 | 5,10 | 9,18 | 1,80 | 1,20 | 2,16 |
| finitura cornicione | | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,00 |
| totale G2 | | | | 9,18 | | | 2,16 |
| totale Qk | | 0,50 | 5,10 | 2,55 | 0,50 | 1,20 | 0,60 |
| neve falde esterne | | 0,80 | 5,10 | 4,08 | 0,80 | 1,20 | 0,96 |
| neve cornicione | | 1,30 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,00 |
| falde est. tot. Qn | | | | 4,08 | | | 0,96 |

Tab. 9.4

TRAVE DI COLMO

| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | |
|---------------------------|-------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) |
| 0,60 | 0,24 | | | | | | |
| peso proprio | | | | 3,60 | | | 3,60 |
| peso solaio | | 3,00 | 0,40 | 1,20 | 3,00 | 0,40 | 1,20 |
| peso cornicione | | 4,50 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 0,00 |
| totale G1 | | | | 4,80 | | | 4,80 |
| finitura copertura | | 1,80 | 1,00 | 1,80 | 1,80 | 1,00 | 1,80 |
| finitura cornicione | | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,00 | 0,00 |
| totale G2 | | | | 1,80 | | | 1,80 |
| totale Qk | | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 0,50 |
| neve falde esterne | | 0,80 | 1,00 | 0,80 | 0,80 | 1,00 | 0,80 |
| neve cornicione | | 1,30 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,00 |
| falde est. tot. Qn | | | | 0,80 | | | 0,80 |

Tab. 9.5

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio IricAV Due</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | | | | | |
| <p>FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 20%;">Foglio 36 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 36 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 36 di 121 | | |

| TRAVE D'IMPOSTA PERIMETRALE | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|---------------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|------|
| B (m) | H (m) | Estremo I | | | Estremo J | | | |
| | | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | peso unit. (kN/mq) | larghezza (m) | carico (kN/m) | |
| 0,30 | 0,70 | | | 5,25 | | | 5,25 | |
| | | peso proprio | | 5,25 | | | 5,25 | |
| | | peso solaio | 3,00 | 0,20 | 0,60 | 3,00 | 0,20 | 0,60 |
| | | peso cornicione | 4,50 | 1,30 | 5,85 | 4,50 | 1,30 | 5,85 |
| | | totale G1 | | 11,70 | | | 11,70 | |
| | | finitura copertura | 1,80 | 0,50 | 0,90 | 1,80 | 0,50 | 0,90 |
| | | finitura cornicione | 1,20 | 0,80 | 0,96 | 1,20 | 0,80 | 0,96 |
| | | totale G2 | | 1,86 | | | 1,86 | |
| | | totale Qk | 0,50 | 1,30 | 0,65 | 0,50 | 1,30 | 0,65 |
| | | neve falde esterne | 0,80 | 0,50 | 0,40 | 0,80 | 0,50 | 0,40 |
| | | neve cornicione | 1,30 | 0,80 | 1,04 | 1,30 | 0,80 | 1,04 |
| | | falde est. tot. Qn | | 1,44 | | | 1,44 | |

Tab. 9.6

Tabella 9: Carichi sulle aste

Di seguito sono riportati i carichi verticali applicati agli altri elementi strutturali:

- monaco (25x25):
 - peso proprio $0,25 \times 0,25 \times 25,0 = \underline{1,57 \text{ kN/m}} \text{ totale G1}$

- catene (40x30):
 - peso proprio $0,40 \times 0,30 \times 25,0 = \underline{3,00 \text{ kN/m}} \text{ totale G1}$
 - muratura divisorio $\underline{\text{da } (0,25 \times 2,6) = 0,65 \text{ kN/m} \text{ a } (1,4 \times 2,6) = 3,64 \text{ kN/m} \text{ totale G2}}$

- pilastri (30x50):
 - peso proprio $0,30 \times 0,50 \times 25,0 = \underline{3,75 \text{ kN/m}} \text{ totale G1}$
 - $0,30 \times 0,30 \times 25,0 = \underline{2,25 \text{ kN/m}} \text{ totale G1 (solo pilastro 8)}$
 - $0,35 \times 0,50 \times 25,0 = \underline{4,375 \text{ kN/m}} \text{ totale G1 (solo pilastri 7 e 15)}$

- travi di fondazione longitudinali e di testata, suola (170x50) + anima (45x80):
 - peso proprio $[(1,70 \times 0,50) + (0,45 \times 0,80)] \times 25,0 = \underline{30,25 \text{ kN/m}} \text{ totale G1}$
 - muratura tamponatura $3,65 \times 5,0 = 18,25 \text{ kN/m}$
 - calpestio su ala esterna $0,60 \times 14,3 = 8,58 \text{ kN/m}$
 - calpestio su ala interna $0,65 \times 6,0 = 3,90 \text{ kN/m}$
 - impianti fissi $0,65 \times 5,0 = 3,25 \text{ kN/m}$
 - 33,98 kN/m totale G2**

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 37 di 121 | |

- trave di fondazione su giunto, suola (120x50) + anima (40x80):

| | | |
|--------------------|---|-----------------------------|
| peso proprio | $[(1,20 \times 0,50) + (0,40 \times 0,80)] \times 25,0 =$ | <u>23,00 kN/m totale G1</u> |
| muratura divisorio | $[3,65 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2] \times 2,6 =$ | 12,42 kN/m |
| calpestio su anima | $0,20 \times 1,0 =$ | 0,20 kN/m |
| calpestio su ala | $0,80 \times 6,0 =$ | 4,80 kN/m |
| impianti fissi | $1,00 \times 5,0 =$ | 5,00 kN/m |
| | | <u>22,42 kN/m totale G2</u> |

- trave di fondazione interna a T rovescia, suola (140x50) + anima (30x80):

| | | |
|--------------------|---|-----------------------------|
| peso proprio | $[(1,40 \times 0,50) + (0,30 \times 0,80)] \times 25,0 =$ | <u>23,50 kN/m totale G1</u> |
| muratura divisorio | $[3,65 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2] \times 2,6 =$ | 12,42 kN/m |
| calpestio su anima | $0,10 \times 1,0 =$ | 0,10 kN/m |
| calpestio su ali | $1,10 \times 6,0 =$ | 6,60 kN/m |
| impianti fissi | $1,20 \times 5,0 =$ | 6,00 kN/m |
| | | <u>25,12 kN/m totale G2</u> |

- travi di fondazione trasversali interne, (100x40):

| | | |
|--------------------|---|-----------------------------|
| peso proprio | $(1,00 \times 0,40) \times 25,0 =$ | <u>12,50 kN/m totale G1</u> |
| muratura divisorio | $[0,80 + 3,65 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2] \times 2,6 =$ | 14,50 kN/m |
| calpestio | $0,80 \times 6,0 =$ | 4,80 kN/m |
| impianti fissi | $0,80 \times 5,0 =$ | 4,00 kN/m |
| | | <u>23,30 kN/m totale G2</u> |

Si precisa che sulle travi trasversali, sia di giunto che interne, è stata considerata l'eventuale presenza del divisorio interno ($b=20$ cm finito), esteso fino alla copertura.

L'azione del vento sulle pareti del fabbricato equivale ad un carico uniformemente distribuito in sommità pari a:

- parete sopravvento $0,72 \times (3,65 / 2 + 0,70) = 1,82$ kN/m
 - parete sottovento $0,36 \times (3,65 / 2 + 0,70) = 0,91$ kN/m
- dove 3,65 m è l'altezza della parete e 0,70 m l'altezza del timpano all'imposta della copertura.

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 38 di 121 |

Tale carico viene poi concentrato nei nodi strutturali di sommità dei pilastri perimetrali in funzione dell'interasse degli stessi e considerando che per il vento agente in direzione longitudinale una sola parete è investita, data la presenza del giunto, come segue:

| | | |
|---|--------------------------|------------|
| - <u>vento in direzione longitudinale, +X</u> | | |
| pilastro (n° dello schema) | fascia di competenza (m) | forza (kN) |
| 1, 9 | 3,35 | 6,10 |
| - <u>vento in direzione longitudinale, -X</u> | | |
| pilastro (n° dello schema) | fascia di competenza (m) | forza (kN) |
| 1, 9 | 3,35 | -3,05 |
| - <u>vento in direzione trasversale, +Y</u> | | |
| pilastro (n° dello schema) | fascia di competenza (m) | forza (kN) |
| 1 | 2,275 | 4,14 |
| 2 | 4,675 | 8,51 |
| 3, 4, 5, 6 | 4,80 | 8,74 |
| 7 | 2,40 | 4,37 |
| 9 | 2,275 | 2,07 |
| 10 | 4,675 | 4,26 |
| 11, 12, 13, 14 | 4,80 | 4,37 |
| 15 | 2,40 | 2,18 |
| - <u>vento in direzione trasversale, -Y</u> | | |
| pilastro (n° dello schema) | fascia di competenza (m) | forza (kN) |
| 1 | 2,275 | -2,07 |
| 2 | 4,675 | -4,26 |
| 3, 4, 5, 6 | 4,80 | -4,37 |
| 7 | 2,40 | -2,18 |
| 9 | 2,275 | -4,14 |
| 10 | 4,675 | -8,51 |
| 11, 12, 13, 14 | 4,80 | -8,74 |
| 15 | 2,40 | -4,37 |

9.3 ANALISI SISMICA

La struttura in esame possiede i requisiti normativi per un'analisi sismica semplificata – lineare statica – consistente nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica. Infatti la costruzione è regolare in altezza (monopiano) ed è rispettata la condizione: $T_1 < 2,5 T_C$ o T_D , come segue:

$$T_1 = C_1 \times H^{3/4} = 0,25 \text{ s} \quad \text{periodo primo modo di vibrazione}$$

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 39 di 121 |

con

$C_1 = 0,075$ (struttura a telaio in calcestruzzo armato)

$H = 5,00$ m altezza dal piano della fondazione

mentre dagli spettri relativi ai diversi stati limite si ricavano i valori minimi:

$T_C = 0,448$ s, e quindi $2,5 T_C = 1,120$ s, e $T_D = 1,807$ s

Si procede quindi con l'analisi statica equivalente.

Trattandosi di una struttura monopiano, con la massa sostanzialmente concentrata in sommità, la forza coincide con il taglio alla base:

$$F_h = S_d(T_1) \times W \times \lambda / g$$

nella quale:

- g è l'accelerazione di gravità;
- $\lambda = 1$ (struttura con meno di tre orizzontamenti);
- $S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto in corrispondenza del primo modo di vibrazione che assume i seguenti valori per i diversi stati limite:

0,173 g per SLV – 0,163 g per SLD – 0,196 g per SLO

come risulta dalla seguente tabella.

Si osserva che il periodo di 0,25 s determinato per la struttura in esame corrisponde la ramo orizzontale dello spettro e quindi ai valori massimi dell'accelerazione spettrale.

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,217 |
| $T_B \leftarrow$ | 0,158 | 0,173 |
| $T_C \leftarrow$ | 0,473 | 0,173 |
| | 0,555 | 0,148 |
| | 0,637 | 0,129 |
| | 0,718 | 0,114 |
| | 0,800 | 0,103 |
| | 0,881 | 0,093 |
| | 0,963 | 0,085 |
| | 1,045 | 0,079 |

10.1 - SLV_di progetto

| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 40 di 121 |

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,094 |
| T _a ← | 0,150 | 0,163 |
| T _c ← | 0,451 | 0,163 |
| | 0,518 | 0,142 |
| | 0,584 | 0,126 |
| | 0,651 | 0,113 |
| | 0,718 | 0,103 |
| | 0,784 | 0,094 |
| | 0,851 | 0,086 |
| | 0,918 | 0,080 |
| | 0,984 | 0,075 |
| | 1,051 | 0,070 |

10.2 - SLD_di progetto

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0,000 | 0,078 |
| T _a ← | 0,149 | 0,196 |
| T _c ← | 0,448 | 0,196 |
| | 0,512 | 0,171 |
| | 0,577 | 0,152 |
| | 0,642 | 0,137 |
| | 0,707 | 0,124 |
| | 0,771 | 0,114 |
| | 0,836 | 0,105 |
| | 0,901 | 0,098 |
| | 0,966 | 0,091 |
| | 1,030 | 0,085 |

10.3 - SLO_di progetto (elastico)

Tabella 10: Punti dello spettro (stralcio)

- W è il peso complessivo della costruzione che viene valutato qui di seguito sulla base delle precedenti analisi dei carichi (vedi paragrafi 7.1 e 9.2):

| | | |
|--|--|------------|
| p.p. pilastri | $[(12 \times 3,75) + (1 \times 2,25) + (2 \times 4,375)] \times 3,62 / 2 =$ | 101,36 kN |
| catene | $6 \times 6,40 \times 3,0 =$ | 115,20 kN |
| monaci | $6 \times 1,40 \times 1,57 =$ | 13,19 kN |
| p.p. travi d'imposta | $[(28,52 \times 2) + 6,70] \times 5,25 =$ | 334,64 kN |
| p.p. solaio e zone piene, sotto il dettaglio | | 734,91 kN |
| (tutto pieno) | $28,37 \times 6,40 / \cos 19^\circ \times 0,24 \times 25 =$ | 1152,18 kN |
| a detrarre zone di solaio | | |
| | $[10 \times (4,20 \times 2,70) + (1/2 \times 5,10 \times 2,55) +$ | |
| | $+ 2 \times (3,50 + 0,80) / 2 \times 2,70] / \cos 19^\circ \times [3,00 - (0,24 \times 25)] =$ | -417,27 kN |

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 35%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 41 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 41 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 41 di 121 | | |

| | | |
|-----------------|---|------------------|
| p.p. cornicione | $(29,07 \times 2 + 7,80) \times 0,80 \times 0,18 \times 25 =$ | 237,38 kN |
| p.p. veletta | $(29,55 \times 2 + 8,75) \times 0,55 \times 0,15 \times 25 =$ | <u>139,94 kN</u> |
| | Totale W (G1) = | 1676,62 kN |

| | | |
|---------------------|--|---------------|
| finitura copertura | $28,67 \times 7,00 / \cos 19^\circ \times 1,8 =$ | 382,06 kN |
| finitura cornicioni | $(29,07 \times 2 + 7,80) \times 0,80 \times 1,20 =$ | 63,30 kN |
| | parziale W (G2) = | 445,36 kN |
| tamponature | $[(28,52 \times 2 + 6,70) - 7,00] \times 3,62 / 2 \times 5,00 \times 0,85 =$ | 436,47 kN (1) |
| divisori interni | $3 \times 6,40 \times [(3,62 / 2 + 0,30 + (0,25 + 1,40) / 2)] \times 2,60 =$ | 146,52 kN (2) |
| | Totale W (G2) = | 1028,35 kN |

Note:

(1) – si considera concentrata in sommità la massa di metà altezza delle tamponature, misurata al netto dei pilastri e con una riduzione minima, del 15%, per tener conto delle aperture di servizio

(2) – si considera concentrato in sommità il contributo di metà altezza dei divisori interni

Risulta quindi $W = 1676,62 + 1028,35 = 2704,97$ kN

Per quanto sopra la forza sismica totale per i diversi stati limite risulta:

SLV $F_h = 0,173 \times 2704,97 = 467,96$ kN

SLD $F_h = 0,163 \times 2704,97 = 440,91$ kN

SLO $F_h = 0,196 \times 2704,97 = 530,18$ kN

e viene applicata nel centro di massa.

Il centro di massa risulta leggermente spostato rispetto al baricentro geometrico della pianta, nella direzione longitudinale, in ragione delle differenze tra testata esterna e testata di giunto. La massa "sbaricentrata" è:

| | | |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| p.p travi di imposta | 6,70x5,25 | 35,18 kN |
| p.p cornicione | 7,80x0,80x0,18x25 | 28,08 kN |
| finitura cornicione | 7,80x0,80x1,2 | 7,49 kN |
| p.p veletta | 8,75x0,55x0,15x25 | 18,05 kN |
| tamponatura | 6,10x3,62/2x5,0x0,85 | <u>46,92 kN</u> |
| | totale | 135,72 kN |

e quindi il centro di massa ha coordinate:

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 42 di 121 |

$$X = [(2704,97-135,72) \times 28,52/2 + 135,72 \times 0,0] / 2704,97 = 13,544 \text{ m}$$

$$Y = 6,70/2 = 3,35 \text{ m}$$

nel sistema di riferimento XY dello schema di calcolo che ha l'origine O in asse al pilastro 1.

Al centro di massa viene attribuita un'eccentricità accidentale, con doppio segno in ciascuna delle due direzioni:

$$e_x = 0,05 \times 28,52 = \pm 1,426 \text{ m} \quad \text{per il sisma in direzione Y}$$

$$e_y = 0,05 \times 6,70 = \pm 0,335 \text{ m} \quad \text{per il sisma in direzione X}$$

il che vuol dire che per la condizione "sisma X" la forza può essere applicata in due diversi punti, di ordinata:

$$\text{Sisma } EX+e_y - \text{loading } 40 - (Y + e_y) = (3,35 + 0,335) = 3,685 \text{ m}$$

$$\text{Sisma } EX-e_y - \text{loading } 41 - (Y - e_y) = (3,35 - 0,335) = 3,015 \text{ m}$$

e, analogamente, per la condizione "sisma Y" la forza può essere applicata in due diversi punti, di ascissa:

$$\text{Sisma } EY+e_x - \text{loading } 42 - (X + e_x) = (13,544 + 1,426) = 14,970 \text{ m}$$

$$\text{Sisma } EY-e_x - \text{loading } 43 - (X - e_x) = (13,544 - 1,426) = 12,118 \text{ m}$$

Per ciascuna delle 2 direzioni si hanno 2 eccentricità (quindi due punti di applicazione) e 2 versi, per un totale di $(2 \times 2 \times 2) = 8$ azioni sismiche "principali", cioè con coefficiente moltiplicativo 1. Ciascuna di esse può essere combinata con l'azione sismica "secondaria", cioè con il coefficiente moltiplicativo 0,3, a sua volta agente con 2 eccentricità e 2 versi, cioè secondo $(2 \times 2) = 4$ configurazioni. In totale si hanno quindi $(8 \times 4) = 32$ combinazioni sismiche per ciascuno stato limite considerato.

Per semplicità di gestione del tabulato, il calcolo sarà direttamente riferito al solo SLV; le sollecitazioni per lo SLD e lo SLO potranno essere ricavate indirettamente, a valle del calcolo, semplicemente in proporzione alle diverse forze sismiche totali prima determinate. Quindi nella tabella successiva si riporta il dettaglio delle combinazioni sismiche allo SLV con la stessa numerazione del tabulato.

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 43 di 121 |

| COMBINAZIONE | | | AZIONE | | | | | |
|---------------------------------------|------|----|--------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Numero | Nome | | Perm. Strutture G1 | Perm. Portati G2 | Sisma orizz. EX+ey (loading 40) | Sisma orizz. EX-ey (loading 41) | Sisma orizz. EY+ex (loading 42) | Sisma orizz. EY-ex (loading 43) |
| da 40 a 43 azioni sismiche elementari | | | | | | | | |
| 44 | SLV | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,3 | 0 |
| 45 | SLV | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | -0,3 | 0 |
| 46 | SLV | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,3 |
| 47 | SLV | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -0,3 |
| 48 | SLV | 5 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0,3 | 0 |
| 49 | SLV | 6 | 1 | 1 | -1 | 0 | -0,3 | 0 |
| 50 | SLV | 7 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0,3 |
| 51 | SLV | 8 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | -0,3 |
| 52 | SLV | 9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | 0 |
| 53 | SLV | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | -0,3 | 0 |
| 54 | SLV | 11 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,3 |
| 55 | SLV | 12 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | -0,3 |
| 56 | SLV | 13 | 1 | 1 | 0 | -1 | 0,3 | 0 |
| 57 | SLV | 14 | 1 | 1 | 0 | -1 | -0,3 | 0 |
| 58 | SLV | 15 | 1 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0,3 |
| 59 | SLV | 16 | 1 | 1 | 0 | -1 | 0 | -0,3 |
| 60 | SLV | 17 | 1 | 1 | 0,3 | 0 | 1 | 0 |
| 61 | SLV | 18 | 1 | 1 | -0,3 | 0 | 1 | 0 |
| 62 | SLV | 19 | 1 | 1 | 0 | 0,3 | 1 | 0 |
| 63 | SLV | 20 | 1 | 1 | 0 | -0,3 | 1 | 0 |
| 64 | SLV | 21 | 1 | 1 | 0,3 | 0 | -1 | 0 |
| 65 | SLV | 22 | 1 | 1 | -0,3 | 0 | -1 | 0 |
| 66 | SLV | 23 | 1 | 1 | 0 | 0,3 | -1 | 0 |
| 67 | SLV | 24 | 1 | 1 | 0 | -0,3 | -1 | 0 |
| 68 | SLV | 25 | 1 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 1 |
| 69 | SLV | 26 | 1 | 1 | -0,3 | 0 | 0 | 1 |
| 70 | SLV | 27 | 1 | 1 | 0 | 0,3 | 0 | 1 |
| 71 | SLV | 28 | 1 | 1 | 0 | -0,3 | 0 | 1 |
| 72 | SLV | 29 | 1 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | -1 |
| 73 | SLV | 30 | 1 | 1 | -0,3 | 0 | 0 | -1 |
| 74 | SLV | 31 | 1 | 1 | 0 | 0,3 | 0 | -1 |
| 75 | SLV | 32 | 1 | 1 | 0 | -0,3 | 0 | -1 |

Tabella 11: Combinazioni considerate per gli stati limite sismici (dettaglio riferito allo SLV)

Nel modello di calcolo, l'azione sismica totale di ciascuna delle quattro condizioni elementari viene applicata alla quota di sommità dei pilastri e ripartita tra questi in funzione delle singole rigidezze, nell'ipotesi di infinita rigidezza del solaio; ipotesi

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 44 di 121 |

concretamente realizzata sia dal tipo di solaio impiegato (latero-cemento con soletta superiore dello spessore di 4 cm) che dalla forma a padiglione della copertura (rigidezza per forma). Nella seguente tabella si riporta il dettaglio di detta ripartizione.

| SLV | Forza sismica totale Fh | | | | | | 467,96 | kN |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------|---------------------------|----------|--------------|----------------|
| Loading 40 - (EX + ey) | | | Ordinata centro masse YC | | | | 3,685 | m |
| Pilastro | Nodo di sommità | Ordinata Y (m) | Inerzia J (m4) | J x Y | d (m) distanza Y - YR | J x d | J x d x d | F (kN) |
| 1 | 16 | 0,000 | 0,00113 | 0,00000 | -3,350 | -0,00379 | 0,01268 | 11,436 |
| 2 | 17 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 3 | 18 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 4 | 19 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 5 | 20 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 6 | 21 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 7 | 22 | 0,000 | 0,00365 | 0,00000 | -3,350 | -0,01223 | 0,04096 | 36,938 |
| 8 | 23 | 3,350 | 0,00068 | 0,00228 | 0,000 | 0,00000 | 0,00000 | 7,660 |
| 9 | 24 | 6,700 | 0,00113 | 0,00757 | 3,350 | 0,00379 | 0,01268 | 14,024 |
| 10 | 25 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 11 | 26 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 12 | 27 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 13 | 28 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 14 | 29 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 15 | 30 | 6,700 | 0,00365 | 0,02446 | 3,350 | 0,01223 | 0,04096 | 45,299 |
| Somme | | | 0,04154 | 0,13916 | | 0,00000 | 0,45855 | 467,960 |
| Ordinata centro rigidezze YR | | | | 3,350 | Eccentricità YC-YR | | 0,335 | Tab. 12.1 |

| SLV | | | Forza sismica totale Fh | | | | 467,96 | kN |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------------|---------------------------|----------|---------------|----------------|
| Loading 41 - (EX - ey) | | | Ordinata centro masse YC | | | | 3,015 | m |
| Pilastro | Nodo di sommità | Ordinata Y (m) | Inerzia J (m4) | J x Y | d (m) distanza Y - YR | J x d | J x d x d | F (kN) |
| 1 | 16 | 0,000 | 0,00113 | 0,00000 | -3,350 | -0,00379 | 0,01268 | 14,024 |
| 2 | 17 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 3 | 18 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 4 | 19 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 5 | 20 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 6 | 21 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -3,350 | -0,01049 | 0,03513 | 38,845 |
| 7 | 22 | 0,000 | 0,00365 | 0,00000 | -3,350 | -0,01223 | 0,04096 | 45,299 |
| 8 | 23 | 3,350 | 0,00068 | 0,00228 | 0,000 | 0,00000 | 0,00000 | 7,660 |
| 9 | 24 | 6,700 | 0,00113 | 0,00757 | 3,350 | 0,00379 | 0,01268 | 11,436 |
| 10 | 25 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 11 | 26 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 12 | 27 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 13 | 28 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 14 | 29 | 6,700 | 0,00313 | 0,02097 | 3,350 | 0,01049 | 0,03513 | 31,676 |
| 15 | 30 | 6,700 | 0,00365 | 0,02446 | 3,350 | 0,01223 | 0,04096 | 36,938 |
| Somme | | | 0,04154 | 0,13916 | | 0,00000 | 0,45855 | 467,960 |
| Ordinata centro rigidezze YR | | | | 3,350 | Eccentricità YC-YR | | -0,335 | Tab. 12.2 |

| SLV | Forza sismica totale Fh | | | | | | 467,96 | kN |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------------------|----------|--------------|----------------|
| Loading 42 - (EY + ex) | | | Ordinata centro masse YC | | | | 14,970 | m |
| Pilastro | Nodo di sommità | Ascissa X (m) | Inerzia J (m4) | J x X | d (m) distanza X - XR | J x d | J x d x d | F (kN) |
| 1 | 16 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -12,007 | -0,03758 | 0,45126 | 46,687 |
| 2 | 17 | 4,550 | 0,00113 | 0,00514 | -7,457 | -0,00843 | 0,06284 | 19,651 |
| 3 | 18 | 9,350 | 0,00113 | 0,01057 | -2,657 | -0,00300 | 0,00798 | 22,601 |
| 4 | 19 | 14,150 | 0,00113 | 0,01599 | 2,143 | 0,00242 | 0,00519 | 25,551 |
| 5 | 20 | 18,950 | 0,00113 | 0,02141 | 6,943 | 0,00785 | 0,05447 | 28,501 |
| 6 | 21 | 23,750 | 0,00113 | 0,02684 | 11,743 | 0,01327 | 0,15582 | 31,451 |
| 7 | 22 | 28,520 | 0,00179 | 0,05105 | 16,513 | 0,02956 | 0,48809 | 54,465 |
| 8 | 23 | 0,000 | 0,00068 | 0,00000 | -12,007 | -0,00816 | 0,09804 | 10,143 |
| 9 | 24 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -12,007 | -0,03758 | 0,45126 | 46,687 |
| 10 | 25 | 4,550 | 0,00113 | 0,00514 | -7,457 | -0,00843 | 0,06284 | 19,651 |
| 11 | 26 | 9,350 | 0,00113 | 0,01057 | -2,657 | -0,00300 | 0,00798 | 22,601 |
| 12 | 27 | 14,150 | 0,00113 | 0,01599 | 2,143 | 0,00242 | 0,00519 | 25,551 |
| 13 | 28 | 18,950 | 0,00113 | 0,02141 | 6,943 | 0,00785 | 0,05447 | 28,501 |
| 14 | 29 | 23,750 | 0,00113 | 0,02684 | 11,743 | 0,01327 | 0,15582 | 31,451 |
| 15 | 30 | 28,520 | 0,00179 | 0,05105 | 16,513 | 0,02956 | 0,48809 | 54,465 |
| Somme | | | 0,02182 | 0,26200 | | 0,00000 | 2,54932 | 467,960 |
| Ordinata centro rigidezze YR | | | | 12,007 | Eccentricità YC-YR | | 2,963 | Tab. 12.3 |

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 47 di 121 |

| SLV | Forza sismica totale Fh | | | | | | 467,96 | kN |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-----------|----------------|
| Loading 43 - (EY - ex) | | | Ordinata centro masse YC | | | 12,118 | m | |
| Pilastro | Nodo di sommità | Ascissa X (m) | Inerzia J (m4) | J x X | d (m) distanza X - XR | J x d | J x d x d | F (kN) |
| 1 | 16 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -12,007 | -0,03758 | 0,45126 | 66,363 |
| 2 | 17 | 4,550 | 0,00113 | 0,00514 | -7,457 | -0,00843 | 0,06284 | 24,063 |
| 3 | 18 | 9,350 | 0,00113 | 0,01057 | -2,657 | -0,00300 | 0,00798 | 24,173 |
| 4 | 19 | 14,150 | 0,00113 | 0,01599 | 2,143 | 0,00242 | 0,00519 | 24,284 |
| 5 | 20 | 18,950 | 0,00113 | 0,02141 | 6,943 | 0,00785 | 0,05447 | 24,394 |
| 6 | 21 | 23,750 | 0,00113 | 0,02684 | 11,743 | 0,01327 | 0,15582 | 24,504 |
| 7 | 22 | 28,520 | 0,00179 | 0,05105 | 16,513 | 0,02956 | 0,48809 | 38,990 |
| 8 | 23 | 0,000 | 0,00068 | 0,00000 | -12,007 | -0,00816 | 0,09804 | 14,417 |
| 9 | 24 | 0,000 | 0,00313 | 0,00000 | -12,007 | -0,03758 | 0,45126 | 66,363 |
| 10 | 25 | 4,550 | 0,00113 | 0,00514 | -7,457 | -0,00843 | 0,06284 | 24,063 |
| 11 | 26 | 9,350 | 0,00113 | 0,01057 | -2,657 | -0,00300 | 0,00798 | 24,173 |
| 12 | 27 | 14,150 | 0,00113 | 0,01599 | 2,143 | 0,00242 | 0,00519 | 24,284 |
| 13 | 28 | 18,950 | 0,00113 | 0,02141 | 6,943 | 0,00785 | 0,05447 | 24,394 |
| 14 | 29 | 23,750 | 0,00113 | 0,02684 | 11,743 | 0,01327 | 0,15582 | 24,504 |
| 15 | 30 | 28,520 | 0,00179 | 0,05105 | 16,513 | 0,02956 | 0,48809 | 38,990 |
| Somme | | | 0,02182 | 0,26200 | | 0,00000 | 2,54932 | 467,960 |
| Ordinata centro rigidezze YR | | | | 12,007 | Eccentricità YC-YR | 0,111 | Tab. 12.4 | |

Tabella 12: Applicazione delle forze sismiche al modello di calcolo (dettaglio riferito allo SLV)

9.4 RISULTATI DEL CALCOLO SPAZIALE

Per le singole azioni elementari - 8 statiche e 4 sismiche - e per le diverse combinazioni di esse - 31 statiche e 32 sismiche (SLV) - il programma calcola:

- le sollecitazioni alle estremità e nelle sezioni intermedie delle aste;
- gli spostamenti e le rotazioni dei nodi;
- le reazioni vincolari;
- la somma delle reazioni vincolari rispetto al sistema di riferimento globale.

Tutti i risultati sono contenuti nel tabulato di input/output del programma GT STRUDL, Allegato 1 a questa relazione; nei capitoli successivi sono invece esplicitamente riportati i valori più significativi per le diverse verifiche di sicurezza in elevazione e in fondazione.

Si osserva che i risultati dell'analisi sismica giustificano la mancata considerazione delle non linearità geometriche, risultando soddisfatta la condizione:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABBRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 48 di 121 | |

$$\theta = (P \times d_r) / (V \times h) < 0,1$$

nella quale:

$P = 2704,97 \text{ kN}$ il carico verticale associato all'azione sismica (vedi paragrafo 9.3)

$V = 467,96 \text{ kN}$ la forza orizzontale totale (vedi paragrafo 9.3)

$H = 3,77 \text{ m}$ l'altezza interpiano nello schema di calcolo

mentre lo spostamento medio della copertura risulta da:

$$q = 3,15 \quad T_c = 0,473 \text{ s} \quad T_1 = 0,25 \text{ s} \quad \rightarrow \quad \mu_d = 1 + (q-1) \times T_c / T_1 = 5,07$$

$$d_{Ex} = 0,00211 \text{ m (vedi Allegato 1, nodo 19)} \quad \rightarrow \quad d_{rx} = \mu_d \times d_{Ex} = 0,011 \text{ m}$$

$$d_{Ey} = 0,00555 \text{ m (vedi Allegato 1, nodo 19)} \quad \rightarrow \quad d_{ry} = \mu_d \times d_{Ey} = 0,028 \text{ m}$$

da cui:

$$\theta_{max} = \theta_y = (2704,97 \times 0,028) / (467,96 \times 3,77) = 0,043 < 0,1$$

Pertanto i momenti del secondo ordine sono trascurabili e gli effetti del sisma possono essere considerati nelle verifiche come calcolati, senza alcun incremento.

10 VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN ELEVAZIONE

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza delle strutture in elevazione, nell'ordine: pilastri, monaci, travi d'imposta, catene, travi di falda, solaio, cornicione.

Si precisa che le verifiche riportate nei paragrafi da 10.1 a 10.7 compresi sono state eseguite con le sollecitazioni già determinate per il fabbricato PT al km 3+700, il quale rappresenta il caso più gravoso dell'intero 1° Sub Lotto nei riguardi delle azioni esterne. In realtà l'unica azione che cambia fra i tre fabbricati PT di questo gruppo è il sisma. Nel caso del PT al km 19+840, qui in esame, l'azione sismica è proporzionale a 0,173 g mentre nel caso del PT al km 3+700, assunto come riferimento, essa è proporzionale a 0,189 g. Pertanto le verifiche allo SLV risultano soddisfatte con un margine di sicurezza aggiuntivo all'incirca pari al rapporto $0,189/0,173 = 1,09$ mentre le verifiche agli SLU e SLE devono intendersi valide senza variazioni.

10.1 PILASTRI

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 49 di 121 | |

10.1.1 PILASTRI (30x50) cm

Per tutti i pilastri di sezione (30x50) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 20 sugli spigoli

1 Φ 20 intermedi sui lati minori

3 Φ 20 intermedi sui lati maggiori

estesa all'intera altezza, mentre solo allo spiccatto vengono aggiunti altri 2 Φ 20 intermedi su ciascun lato minore, con un totale di $(12 \times 3,14) = 37,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,5 \%$ e un totale di $(16 \times 3,14) = 50,24 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 3,3 \%$ allo spiccatto;

- armature trasversali:

staffe Φ 10 e legature Φ 10 dei ferri centrali posti sui lati maggiori, con passo di 120 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm e nei nodi, con passo 200 mm nella parte centrale.

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 330 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del pilastro (sovrapposizioni di 120 cm comprese).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte solo le verifiche più gravose tra tutte quelle eseguite, con l'indicazione delle combinazioni (N , M_x , M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente $(1/\rho_M)$ che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 1-spicc. | 74 | 131,39 | 143,81 | 18,84 | 174,00 | 24,00 | 0,826 | 1,210 |

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 20%;">Foglio 50 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 50 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 50 di 121 | | |

| | | | | | | | | |
|----------|----|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 5-spicc. | 62 | 183,50 | 42,72 | 97,59 | 43,19 | 101,20 | 0,968 | 1,033 |
| 1-tipica | 74 | 117,25 | 131,70 | 12,67 | 161,10 | 16,62 | 0,817 | 1,223 |
| 6-tipica | 67 | 217,88 | 43,04 | 67,91 | 48,14 | 83,92 | 0,831 | 1,203 |

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 13: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al rispettivo dominio.

Per la verifica al taglio del pilastro si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

d = 240 mm / 440 mm altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

A_{sw} = 236 mm² / 157 mm² area dell'armatura sul singolo strato

s = 120 mm l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

f_{yd} = 391,3 N/mm² resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

θ = 45° inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

α = 90° inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: V_{Rsd} (x) = 166,22 kN e V_{Rsd} (y) = 202,73 kN

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

d = 240 mm / 440 mm altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

b_w = 500 mm / 300 mm larghezza della sezione

α_c = 1 coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)

f'cd = 9,4 N/mm² resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls = 0,5 f_{cd}

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 51 di 121 | |

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rcd}(x) = 507,60 \text{ kN}$ e $V_{Rsd}(y) = 588,06 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$V_{Rd}(x) = 166,22 \text{ kN}$ $V_{Rd}(y) = 202,73 \text{ kN}$.

Questi valori risultano superiori ai corrispondenti tagli massimi di calcolo qui riportati:

$T_d(x) = 50,82 \text{ kN}$ (Pil. 11, Comb. 51) $T_d(y) = 73,08 \text{ kN}$ (Pil. 1, Comb. 74)

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del pilastro soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 3,77 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di 232 kN (pilastro 6 , comb. 67), sono:

$$M_{sup,Rd} = 191,70 \text{ kNm} \text{ e } M_{inf,Rd} = 215,00 \text{ kNm} \text{ intorno all'asse } x$$

$$M_{sup,Rd} = 110,30 \text{ kNm} \text{ e } M_{inf,Rd} = 125,50 \text{ kNm} \text{ intorno all'asse } y$$

Quindi:

$$V_{Ed}(x) = 1,10 \times (110,30 + 125,50) / 3,77 = 68,80 \text{ kN} < 166,22 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}(y) = 1,10 \times (191,70 + 215,00) / 3,77 = 118,67 \text{ kN} < 202,73 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

I momenti flettenti in questo stato limite risultano notevolmente inferiori a quelli appena verificati per SLV. Nella seguente tabella sono riassunte le più gravose verifiche a presso-flessione deviata, eseguite con analoga procedura e, per semplicità ma in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica, cioè senza considerare i ferri di rinforzo allo spiccato:

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 3 | 19 | 269,77 | 10,93 | 48,51 | 20,56 | 100,10 | 0,487 | 2,053 |
| 5 | 19 | 272,80 | 6,02 | 62,43 | 6,50 | 108,00 | 0,580 | 1,724 |

NOTE:

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 52 di 121 |

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 14: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto i valori massimi di calcolo:

$$T_d(x) = 17,13 \text{ kN (Pil. 5, Comb. 19)} \quad T_d(y) = 16,09 \text{ kN (Pil. 1, Comb. 20)}$$

sono notevolmente inferiori a quelli precedentemente verificati per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei pilastri, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei sovraccarichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare per ciascun pilastro una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica. Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio che, tra tutte, è risultata la più gravosa, eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi.

| Pilastro | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|----------|----------|-----------|-------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 4 | fittizia | 194,42 | 5,29 | 46,01 | 7,8 | 91,2 |

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 15: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 7,8 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 91,2 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 53 di 121 |

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione.

10.1.2 PILASTRI (35x50) cm

Per tutti i pilastri di sezione (35x50) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 20 sugli spigoli

1 Φ 20 intermedi sui lati minori

3 Φ 20 intermedi sui lati maggiori

estesa all'intera altezza, mentre solo allo spiccato vengono aggiunti altri 2 Φ 20 intermedi su ciascun lato minore, con un totale di $(12 \times 3,14) = 37,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,2 \%$ e un totale di $(16 \times 3,14) = 50,24 \text{ cm}^2$ e una percentuale tipica $\rho = 2,9 \%$ allo spiccato;

- armature trasversali:

staffe Φ 10 e legature Φ 10 dei ferri centrali posti sui lati maggiori, con passo di 120 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm e nei nodi, con passo 200 mm nella parte centrale.

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 280 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del pilastro (sovrapposizioni di 120 cm comprese).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte solo le verifiche più gravose tra tutte quelle eseguite, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x , M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente $(1/\rho_M)$ che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 54 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 54 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 54 di 121 | | |

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|-----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 7-spicc. | 62 | 111,35 | 49,33 | 127,58 | 50,47 | 136,30 | 0,948 | 1,055 |
| 7-tipica. | 67 | 111,46 | 29,64 | 99,96 | 35,15 | 122,80 | 0,817 | 1,224 |

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 16: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al rispettivo dominio.

Per la verifica al taglio del pilastro si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 290 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

$A_{sw} = 236 \text{ mm}^2 / 157 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato

$s = 120 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd}(x) = 200,85 \text{ kN}$ e $V_{Rsd}(y) = 202,73 \text{ kN}$

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 290 \text{ mm} / 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione - taglio x (lato minore) / taglio y

$b_w = 500 \text{ mm} / 350 \text{ mm}$ larghezza della sezione

$\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 55 di 121 |

$f'_{cd} = 9,4 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo: $V_{Rcd}(x) = 613,35 \text{ kN}$ e $V_{Rsd}(y) = 686,07 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$V_{Rd}(x) = 200,85 \text{ kN}$ $V_{Rd}(y) = 202,73 \text{ kN}$.

Questi valori risultano superiori ai corrispondenti tagli massimi di calcolo qui riportati:

$T_d(x) = 60,64 \text{ kN}$ (Pil. 7, Comb. 67) $T_d(y) = 38,44 \text{ kN}$ (Pil. 7, Comb. 54)

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del pilastro soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 3,77 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di 140 kN (pilastro 7, comb. 53), sono:

$M_{sup,Rd} = 209,00 \text{ kNm}$ e $M_{inf,Rd} = 235,40 \text{ kNm}$ intorno all'asse x

$M_{sup,Rd} = 150,20 \text{ kNm}$ e $M_{inf,Rd} = 173,20 \text{ kNm}$ intorno all'asse y

Quindi:

$$V_{Ed}(x) = 1,10 \times (150,20 + 173,20) / 3,77 = 94,36 \text{ kN} < 200,85 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}(y) = 1,10 \times (209,00 + 235,40) / 3,77 = 129,67 \text{ kN} < 202,73 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

I momenti flettenti in questo stato limite risultano notevolmente inferiori a quelli appena verificati per SLV. Nella seguente tabella sono riassunte le più gravose verifiche a presso-flessione deviata, eseguite con analoga procedura e, per semplicità ma in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica, cioè senza considerare i ferri di rinforzo allo spiccato:

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 7 | 20 | 147,68 | 8,81 | 39,08 | 25,51 | 131,00 | 0,300 | 3,333 |

NOTE:

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 Lotto 10 Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 Rev. A Foglio 56 di 121 |

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 17: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto i valori massimi di calcolo:

$$T_d(x) = 16,24 \text{ kN (Pil. 7, Comb. 20)} \quad T_d(y) = 6,98 \text{ kN (Pil. 15, Comb. 20)}$$

sono notevolmente inferiori a quelli precedentemente verificati per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei pilastri, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare per ciascun pilastro una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza, con riferimento all'armatura tipica. Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio che, tra tutte, è risultata la più gravosa, eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi.

| Pilastro | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|----------|----------|-----------|-------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 7 | fittizia | 108,15 | 13,00 | 28,54 | 4,4 | 55,2 |

NOTE:

- Per convenzione, l'asse x è parallelo al lato minore del pilastro e Mx è il momento che ruota intorno a tale asse; viceversa per l'asse y.

Tabella 18: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 4,4 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 55,2 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 57 di 121 | |

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione.

10.1.3 PILASTRO (30x30) cm

Per il pilastro 8, di sezione (30x30) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:

4 Φ 16 sugli spigoli

1 Φ 16 intermedi sui lati

estesa all'intera altezza, con un totale di $(8 \times 2,01) = 16,08 \text{ cm}^2$ e una percentuale $\rho = 1,8 \%$.

- armature trasversali:

staffe Φ 10 con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm e nei nodi, con passo 160 mm nella parte centrale.

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 220 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del pilastro (sovrapposizioni di 100 cm comprese).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N , M_x , M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 8 | 68 | 90,98 | 5,57 | 38,76 | 6,95 | 48,88 | 0,793 | 1,261 |

| | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 58 di 121 |

| | | | | | | | | |
|---|----|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 8 | 71 | 84,32 | 3,86 | 40,22 | 4,03 | 51,61 | 0,781 | 1,280 |
|---|----|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|

Tabella 19: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al dominio.

Per la verifica al taglio del pilastro si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

- d = 240 mm altezza utile sezione
- A_{sw} = 157 mm² area dell’armatura sul singolo strato
- s = 100 mm l’interasse tra due strati consecutivi di armatura
- f_{yd} = 391,3 N/mm² resistenza caratteristica di calcolo dell’armatura
- θ = 45° inclinazione del puntone in cls rispetto all’asse (max)
- α = 90° inclinazione delle armature rispetto all’asse

ottenendo: V_{Rsd} = 132,70 kN

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)/(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

dove:

- d = 240 mm altezza utile sezione
- b_w = 300 mm larghezza della sezione
- α_c = 1 coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
- f'_{cd} = 9,4 N/mm² resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls = 0,5 f_{cd}
- θ = 45° inclinazione del puntone in cls rispetto all’asse
- α = 90° inclinazione delle armature rispetto all’asse

ottenendo: V_{Rcd} = 304,56 kN

e si assume la minore delle due, cioè:

V_{Rd} = 132,70 kN.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 59 di 121 | |

Questo valore risulta superiore al corrispondente taglio massimo di calcolo:

$$T_d = 20,96 \text{ kN (Pil. 8, Comb. 68)}.$$

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del pilastro soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 3,77 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di 95 kN (pilastro 16 , comb. 58), sono:

$$M_{sup,Rd} \approx M_{inf,Rd} = 55,76 \text{ kNm}$$

Quindi:

$$V_{Ed} = 1,10 \times (2 \times 55,76) / 3,77 = 29,58 \text{ kN} < 132,70 \text{ kN}$$

Verifiche allo SLU

I momenti flettenti in questo stato limite risultano notevolmente inferiori a quelli appena verificati per SLV. Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a presso-flessione deviata, eseguita con analoga procedura.

| Pilastro | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kN/m) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|----------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------|------------|
| 8 | 19 | 115,85 | 2,11 | 6,07 | 14,0 | 42,86 | 0,143 | 7,00 |

Tabella 20: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 3,28 \text{ kN (Pil. 8, Comb. 20)}$$

è notevolmente inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei pilastri, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 60 di 121 | |

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza.

Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio risultata la più gravosa, eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi.

| Pilastro | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|----------|----------|-----------|-------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 8 | fittizia | 102,34 | 1,97 | 4,19 | 2,1 | ----- |

Tabella 21: Verifiche pilastri a presso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni sempre di compressione e abbondantemente inferiori al corrispondente valore limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,1 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

I momenti flettenti per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più bassi, la sezione sarà ancora interamente compressa e ciò costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione.

10.2 MONACO

Per il monaco, di sezione (25x25) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 14 sugli spigoli
 - 1 Φ 12 intermedi sui lati
estesa all'intera altezza, con un totale di $[(4 \times 1,54) + (4 \times 1,13)] = 10,68 \text{ cm}^2$ e una percentuale $\rho = 1,7 \%$.
- armature trasversali:
 - staffe Φ 8 con passo di 100 mm sull'intera altezza, in considerazione del ridotto valore di questa (1,50 m);

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 61 di 121 | |

conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità conferite anche a questo elemento, non propriamente un pilastro ma comunque elemento verticale, peraltro poco impegnato dall'azione sismica.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 190 kg/mc, comprensiva di tutti e soli i ferri presenti nell'altezza netta del monaco.

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione deviata è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato costruito il dominio di resistenza della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x, M_y) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti, del coefficiente ρ_M che esprime il rapporto tra la distanza del punto rappresentativo della combinazione di calcolo dall'origine del dominio di resistenza e la distanza della frontiera lungo lo stesso allineamento, e infine del coefficiente (1/ρ_M) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Monaco | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kN/m) | ρ _M | 1/ρ _M |
|--------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|------------------|
| 36 | 64 | -20,03 | 4,16 | 19,10 | 4,31 | 20,71 | 0,924 | 1,082 |

NOTE:

- Il monaco risulta generalmente sollecitato nel piano della "capriata" e quasi nulla fuori di questo.

Tabella 22: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLV

Tutti i punti rappresentativi delle sollecitazioni di calcolo risultano interni al dominio.

Per la verifica al taglio del monaco si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

d = 190 mm

altezza utile sezione

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 Lotto 10 Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 Rev. A Foglio 62 di 121 |

$A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato
 $s = 100 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
 $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo: $V_{Rsd} = 66,91 \text{ kN}$

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 190 \text{ mm}$ altezza utile sezione
 $b_w = 250 \text{ mm}$ larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo: $V_{Rcd} = 175,91 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 66,91 \text{ kN.}$$

Questo valore risulta superiore al corrispondente taglio massimo di calcolo:

$$T_d = 34,34 \text{ kN (Mon. 36, Comb. 64)}$$

Una verifica ulteriore viene eseguita nei confronti del taglio che si determina nella condizione di equilibrio del monaco soggetto a momenti di estremità pari a quelli resistenti, nelle due direzioni, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_p$$

nella quale: $\gamma_{Rd} = 1,10$; $l_p = 1,40 \text{ m}$ mentre i momenti resistenti, in corrispondenza dello sforzo normale massimo di trazione pari a 26,04 kN (monaco 33, comb. 60), sono:

$$M_{sup,Rd} \approx M_{inf,Rd} = 25,55 \text{ kNm}$$

Quindi:

$$V_{Ed} = 1,10 \times (2 \times 25,55) / 1,40 = 40,15 \text{ kN} < 66,91 \text{ kN}$$

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 63 di 121 |

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a presso-flessione deviata, eseguita con analoga procedura.

| Monaco | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Myd (kNm) | Mxr (kNm) | Myr (kNm) | ρ_M | $1/\rho_M$ |
|--------|-------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------------|
| 36 | 19 | -26,01 | 5,76 | 3,35 | 14,75 | 8,84 | 0,388 | 2,577 |

NOTE:

- Il monaco risulta generalmente sollecitato nel piano della “capriata” e quasi nulla fuori di questo.

Tabella 23: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLU

La verifica al taglio del pilastro risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 7,86 \text{ kN (Mon. 31, Comb. 10)}$$

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

Per la verifica allo SLE dei monaci, si considera preliminarmente che le diverse combinazioni hanno valori poco diversi tra loro, a causa del modesto valore dei carichi verticali in copertura rispetto ai permanenti; le variazioni più significative sui momenti flettenti sono infatti dovuti al vento.

Visto che lo stato di sollecitazione è piuttosto contenuto, si è ritenuto di considerare una combinazione SLE Rara fittizia, composta dai valori massimi dei momenti nelle due direzioni, anche non contemporanei, associata ai valori massimo e minimo del carico assiale. Ne risulta un'interpolazione finalizzata a dare una misura dello stato tensionale, valutato in favore di sicurezza.

Nella seguente tabella è riportata la verifica delle tensioni di esercizio risultata la più gravosa, eseguita con il programma “Verifica C.A.” dell’Ing. Piero Gelfi.

| Monaco | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | σ (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|--------|----------|-----------|-------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 31 | fittizia | -20,33 | 5,00 | 1,58 | 4,4 | 99,0 |

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 64 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 64 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 64 di 121 | | |

Tabella 24: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 4,4 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 99,0 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Le sollecitazioni per le combinazioni frequenti e quasi permanente sono ancora più basse e quindi il valore ancora minore atteso per le trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi della fessurazione. Una conferma è data dalla più gravosa verifica delle tensioni per la condizione quasi permanente, più restrittiva, come segue:

| Monaco | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|--------|-------|-----------|-------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 31 | 39 | -20,34 | 4,24 | 0 | 2,6 | 77,3 |

Tabella 25: Verifiche monaco a tenso-flessione deviata – SLE, QP

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,6 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 77,3 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

10.3 TRAVI D'IMPOSTA

Per le travi d'imposta, tutte con sezione (30x70) cm è adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 16 inferiori correnti
 - 4 Φ 16 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:
 - staffe Φ 8 con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 70 cm, con passo 200 mm nella parte centrale;

| | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 65 di 121 |

ed è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho = (4 \times 201,0) / (300 \times 700) = 0,00383 > (1,4 / 450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

L'armatura doppia simmetrica è dovuta alla sostanziale uguaglianza dei momenti inf. e sup. che, dato il modesto carico verticale, risultano determinati dall'azione sismica prevalente.

Ne risulta l'incidenza di armatura di 120 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Verifiche allo SLV

La verifica a tenso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente (1/ρ_M) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Trave imposta | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | 1/ρ _M |
|---------------|-------|---------|-----------|-----------|------------------|
| 16 | 55 | -38,24 | 90,01 | 179,70 | 2,00 |
| 16 | 55 | -38,24 | -62,88 | -179,70 | 2,85 |
| 28 | 74 | -36,42 | 85,25 | 180,20 | 2,11 |
| 28 | 69 | -33,45 | -142,91 | -181,10 | 1,26 |

NOTE:

- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 26: Verifiche travi d'imposta a tenso-flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della trave soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 66 di 121 |

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_t / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_t è la luce della trave

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 179,70 \text{ kNm o } 181,10 \text{ kNm (armatura corrente doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità delle due travi già considerate nella verifica a flessione:

| Trave | l_t (m) | (G1+G2) (kN/m) | Mr (kNm) | V+ (kN) | V- (kN) | V-/V+ (kN) | V_{R1} (kN) | V_{Ed} (kN) | $V_{analisi}$ (kN) |
|-------|-----------|-------------------|-------------|------------|------------|---------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 16 | 4,55 | 13,56 | ±179,70 | 110,84 | 49,14 | 0,45<0,5 | ----- | 110,84 | 64,45 |
| 28 | 3,35 | 13,56 | ±181,10 | 130,83 | 85,41 | 0,65>0,5 | 334,36 | 130,83 | 81,97 |

NOTE:

- Per il valore del carico si veda la Tabella 9.6 ($G1+G2 = 11,70+1,86 = 13,56 \text{ kN/m}$).
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nella zona critica della trave.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 27: Determinazione taglio di calcolo - SLV

Di seguito si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$d = 640 \text{ mm}$ altezza utile sezione

$A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$ area dell'armatura sul singolo strato

$s = 100 \text{ mm}$ l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

$\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 225,39 \text{ kN}$

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 67 di 121 | |

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

| | |
|-------------------------------|--|
| d = 640 mm | altezza utile sezione |
| b _w = 300 mm | larghezza della sezione |
| α _c = 1 | coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo) |
| f'cd = 8,23 N/mm ² | resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls = 0,5 f _{cd} |
| θ = 45° | inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse |
| α = 90° | inclinazione delle armature rispetto all'asse |

ottenendo: V_{Rsd} = 716,26 kN

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 225,39 \text{ kN}$$

che risulta superiore a V_{Ed max} = 130,83 kN.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a tenso-flessione retta, eseguita con analoga procedura.

| Trave imposta | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | 1/ρ _M |
|---------------|-------|---------|-----------|-----------|------------------|
| 16 | 9 | -55,34 | 77,38 | 174,70 | 2,25 |
| 28 | 19 | -46,43 | -58,55 | 177,30 | 3,03 |

NOTE:

- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 28: Verifiche travi d'imposta a tenso-flessione retta - SLU

La verifica al taglio risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 71,09 \text{ kN (trave 16, Comb. 13)}$$

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 68 di 121 |

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica delle tensioni di esercizio.

| Trave imposta | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|---------------|---------|--------|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 16 | 21-Rara | -42,05 | 58,60 | 2,8 | 150,1 |
| 16 | 34-Fr | -37,80 | 53,87 | 2,6 | 137,5 |
| 16 | 39-QP | -38,64 | 52,82 | 2,6 | 135,8 |

Tabella 29: Verifiche trave a tenso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,8 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 2,8 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 150,1 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che le massime sollecitazioni agenti nelle combinazioni FR e QP risultano inferiori a quelle di prima fessurazione, come segue:

$$(N_d = -37,80 \text{ kN} ; M_d = 53,87 \text{ kNm}) < (N_{fess} = -47,00 \text{ kN} ; M_{fess} = 67,40 \text{ kNm})$$

e la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_c = 37800/234127 + 53870000/30297477 = 1,94 \text{ N/mm}^2 < f_{ctm} / 1,2 = 2,30 \text{ N/mm}^2$$

e quindi la sezione della trave d'imposta non si fessura.

10.4 CATENE

Per le catene, tutte con sezione (40x30) cm viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 20 inferiori correnti
 - 4 Φ 20 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 69 di 121 |

- armature trasversali:

staffe Φ 8 con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore doppio del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale;

ed è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho = (4 \times 314,0) / (400 \times 300) = 0,01047 > (1,4/450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

L'armatura doppia simmetrica è dovuta al fatto che questo elemento è sostanzialmente sollecitato a trazione, in quanto assorbe le spinte della copertura inclinata, ed anche alla sostanziale uguaglianza dei modesti momenti inf. e sup..

Ne risulta l'incidenza di armatura di 240 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della catena.

Verifiche allo SLV

La verifica a tenso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella è riportata la verifica più gravosa, con l'indicazione delle combinazioni (N , M_x) delle sollecitazioni di calcolo, delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Catena | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | $1/\rho_M$ |
|--------|------------|--------------|--------------|------------|
| 46 | -137,08 | 48,01 | 79,64 | 1,65 |

NOTE:

- Considerato lo stato di sollecitazione omogeneo delle varie catene, le verifiche sono eseguite per coppie di valori (N_{max} ; M_{max}) anche non contemporanei all'interno dello stesso elemento.

Tabella 30: Verifica catena a tenso-flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della catena soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 70 di 121 |

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_c / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_c è la luce della catena

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 79,64 \text{ kNm (armatura corrente doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità della catena già considerate nella verifica a flessione:

| Catena | l_c (m) | (G1+G2) (kN/m) | M_r (kNm) | V+ (kN) | V- (kN) | V-/V+ (kN) | V_{R1} (kN) | V_{Ed} (kN) | $V_{analisi}$ (kN) |
|--------|-----------|-------------------|----------------|------------|------------|---------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 46 | 3,35 | 5,15 | ±79,64 | 56,18 | 39,02 | 0,70 > 0,5 | 160,99 | 56,18 | 25,94 |

NOTE:

- Per il valore dei carichi si veda il paragrafo 9.2:
 $G1+G2 = 3,00 + (0,65 + 3,64) / 2 = 5,15 \text{ kN/m}$
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nelle zone critiche delle catene.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 31: Determinazione taglio di calcolo - SLV

Di seguito si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

$$d = 240 \text{ mm}$$

altezza utile sezione

$$A_{sw} = 100 \text{ mm}^2$$

area dell'armatura sul singolo strato

$$s = 100 \text{ mm}$$

l'interasse tra due strati consecutivi di armatura

$$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$$

resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura

$$\theta = 45^\circ$$

inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)

$$\alpha = 90^\circ$$

inclinazione delle armature rispetto all'asse

$$\text{ottenendo: } V_{Rsd} = 84,52 \text{ kN}$$

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 71 di 121 |

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times bw \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

- d = 240 mm altezza utile sezione
- bw = 400 mm larghezza della sezione
- $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
- $f'_{cd} = 8,23 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls = $0,5 f_{cd}$
- $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
- $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 355,53 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 84,52 \text{ kN}$$

che risulta superiore a $V_{Ed \max} = 56,18 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella è riportata la più gravosa verifica a tenso-flessione retta, eseguita con analoga procedura.

| Catena | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | $1/\rho_M$ |
|--------|------------|--------------|--------------|------------|
| 42 | -330,33 | 17,32 | 73,84 | 4,26 |

Tabella 32: Verifica catena a tenso-flessione retta - SLU

La verifica al taglio risulta automaticamente soddisfatta in quanto il valore massimo di calcolo:

$$T_d = 18,82 \text{ kN (catena 40)}$$

è inferiore a quello precedentemente verificato per SLV.

Verifiche allo SLE

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 72 di 121 | |

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4$ mm per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3$ mm per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

| Catena | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | w_d (mm) | w_{lim} (mm) |
|--------|-------|-----------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|-------------------|
| 40 | Rara | -248,93 | 12,39 | 0,3 | 148,0 | ---- | ---- |
| 40 | FR | -220,00 | 9,74 | ----- | 123,4 | 0,05 | 0,4 |
| 40 | QP | -219,99 | 9,34 | ----- | 121,7 | 0,04 | 0,3 |

Tabella 33: Verifiche catena a tenso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 0,3 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s, \max} = 148,0 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure entro i valori limite.

10.5 TRAVI DI FALDA

Le travi di falda hanno sezione (60x24) cm ad eccezione di quelle sul giunto con sezione (50x24).

Per tutte le travi (60x24) viene adottata la seguente armatura (nel seguito: gruppo 1):

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 16 inferiori correnti
 - 4 Φ 16 superiori correnti ai quali si aggiungono 4 Φ 16 spezzoni superiori alle estremità delle due travi di displuvio, sia all'incrocio con le travi d'imposta che all'incrocio con le travi trasversali sul filo 12;
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 73 di 121 |

staffa Φ 10 perimetrale + staffa Φ 8 interna (totale 4 bracci) con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore maggiore del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale.

Per le travi (50x24) viene adottata la seguente armatura (nel seguito: gruppo 2):

- armature longitudinali:
 - 2 Φ 16 + 2 Φ 14 inferiori correnti
 - 2 Φ 16 + 2 Φ 14 superiori correnti
 - 2 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:
 - staffa Φ 10 perimetrale + staffa Φ 8 interna (totale 4 bracci) con passo di 100 mm nelle zone critiche di estremità lunghe 60 cm (valore maggiore del minimo), con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni geometriche e di armatura, a garanzia delle caratteristiche di duttilità richieste. In particolare, risulta soddisfatta la prescrizione circa il rapporto geometrico minimo dell'armatura di forza inf. e sup.:

$$\rho_1 = (4 \times 201,0) / (600 \times 240) = 0,00558 > (1,4 / 450) = 0,00311 \text{ (valore minimo);}$$

$$\rho_2 = (2 \times 201,0 + 2 \times 154,0) / (600 \times 240) = 0,00592 > (1,4 / 450) = 0,00311 \text{ (valore minimo).}$$

Ne risulta l'incidenza media ponderale di armatura di 170 kg/mc per entrambi i gruppi, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Nelle seguenti verifiche verrà richiamato il numero della trave, indicato il gruppo di appartenenza e indicata la sezione con i rinforzi di armatura (r).

Verifiche allo SLV

La verifica a presso-flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione per i diversi valori dello sforzo normale. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle combinazioni (N, M_x) delle sollecitazioni di calcolo e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Trave falda | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | $1/\rho_M$ |
|----------------|-------|------------|--------------|--------------|------------|
| | | | | | |

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 74 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 74 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 74 di 121 | | |

| | | | | | |
|--------|----|--------|--------|--------|------|
| 48-1 | 63 | 190,76 | 27,64 | 58,72 | 2,12 |
| 60-1-r | 75 | 66,85 | -51,63 | -74,92 | 1,45 |
| 58-2 | 63 | 137,03 | 16,17 | 49,66 | 3,07 |

NOTE:

- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 34: Verifiche travi di falda a presso-flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio le sollecitazioni si determinano nella condizione di equilibrio della trave soggetta a momenti di estremità pari a quelli resistenti ed ai carichi agenti nella condizione sismica, con la:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \times (M_{sup,Rd} + M_{inf,Rd}) / l_t \pm (G1+G2) \times l_t / 2$$

nella quale:

$$\gamma_{Rd} = 1,00 \text{ (CD "B")}$$

l_t è la luce della trave

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 58,72 \text{ kNm per la trave 48 (armatura doppia simmetrica)}$$

$$M_{sup,Rd} = 74,92 \text{ kNm e } M_{inf,Rd} = 58,72 \text{ kNm per la trave 60 (armatura non simmetrica)}$$

$$M_{sup,Rd} = M_{inf,Rd} = 49,66 \text{ kNm per la trave 58 (armatura doppia simmetrica)}$$

e il doppio segno indica che il taglio dovuto al carico, in ciascuna estremità si somma o si sottrae a quello dei momenti a seconda del verso dell'azione sismica.

Si riportano in tabella i valori del taglio alle estremità delle due travi già considerate nella verifica a flessione:

| Trave | l_t (m) | (G1+G2) (kN/m) | V+ (kN) | V- (kN) | V-/V+ (kN) | V_{R1} (kN) | V_{Ed} (kN) | $V_{analisi}$ (kN) |
|-------|-----------|--------------------|----------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 48 | 3,55 | 24,84 | 77,17 | 11,01 | 0,14<0,5 | ----- | 77,17 | 42,22 |
| 60 | 5,00 | da 25,68 a 6,96 | 75,32 59,72 | 21,88 6,28 | 0,29<0,5 0,11<0,5 | ----- | 75,32 59,72 | 54,14 23,66 |
| 58 | 3,55 | 13,98 | 52,78 | 3,16 | 0,06<0,5 | ----- | 52,78 | 34,29 |

NOTE:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 75 di 121 | |

- Per il valore del carico si veda Tabella 9.1 per la trave 48 ($G1+G2 = 16,20+8,64 = 24,84$ kN/m), Tabella 9.4 per la trave 60 ($G1+G2$ var da $16,50+9,18 = 25,68$ kN/m a $4,80+2,16 = 6,96$ kN/m) e Tabella 9.3 per la trave 58 ($G1+G2 = 9,30+4,68 = 13,98$ kN/m).
- Nelle colonne V-/V+ e V_{R1} viene eseguita la verifica richiesta al punto 7.4.4.1.2 NTC che esclude la necessità di disporre delle armature diagonali nella zona critica della trave.
- A titolo di confronto, nell'ultima colonna è riportato il taglio derivante dall'analisi, che risulta comunque meno gravoso di V_{Ed} .

Tabella 35: Determinazione taglio di calcolo - SLV

Di seguito si determina la resistenza a “taglio trazione” delle armature:

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

- $d = 180$ mm altezza utile sezione
 $A_{sw} = 258$ mm² area dell'armatura sul singolo strato
 $s = 100$ mm l'interasse tra due strati consecutivi di armatura
 $f_{yd} = 391,3$ N/mm² resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse

ottenendo: $V_{Rsd} = 163,55$ kN per entrambi i gruppi

e la resistenza a “taglio compressione” del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)/(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

dove:

- $d = 180$ mm altezza utile sezione
 $b_w = 600$ mm larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 8,23$ N/mm² resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo $V_{Rsd} = 399,98$ kN per la sezione (60x24) e $V_{Rsd} = 333,32$ kN per la sezione (50x24).

e si assume la minore delle due, cioè:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 76 di 121 | |

$$V_{Rd} = 163,55 \text{ kN}$$

che risulta superiore a $V_{Ed \max} = 77,17 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a presso-flessione retta, eseguita con analoga procedura.

| Trave falda | Comb. | Nd (kN) | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | 1/ρ _M |
|----------------|-------|------------|--------------|--------------|------------------|
| 49-1 | 20 | 265,03 | 38,57 | 60,04 | 1,55 |
| 60-1-r | 12 | -72,04 | -51,63 | -74,75 | 1,04 |
| 58-2 | 20 | 165,43 | 17,95 | 50,08 | 2,79 |

NOTE:

- Per convenzione, Mx è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 36: Verifiche travi di falda a presso-flessione retta - SLU

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

$$T_d = 82,59 \text{ kN (trave 60, Comb. 11)}$$

inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 163,55 \text{ kN}$.

Si osserva che le sollecitazioni di taglio e momento delle combinazioni SLU sono più elevate di quelle delle combinazioni SLV stante il comportamento rigido d'insieme della copertura a padiglione nei riguardi del sisma.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione relative alle travi di falda.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4 \text{ mm}$ per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 77 di 121 |

| Trave di falda | Comb. | N (kN) | Mx (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | wd (mm) | wlim (mm) |
|----------------|---------|--------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------|-----------|
| 49-1 | 32-Rara | 201,43 | 28,65 | 5,4 | 1,0 | ---- | ---- |
| 49-1 | 38-FR | 186,56 | 23,02 | 4,6 | 1,0 | No fess | 0,4 |
| 49-1 | 39-QP | 185,55 | 22,02 | 4,4 | 1,0 | No fess | 0,3 |
| 60-1-r | 24-Rara | 88,38 | -54,16 | 12,8 | 195,5 | ---- | ---- |
| 60-1-r | 24-FR | 73,60 | -47,41 | 11,2 | 172,3 | 0,18 | 0,4 |
| 60-1-r | 39-QP | 71,34 | -46,00 | 10,9 | 167,2 | 0,17 | 0,3 |
| 58-2 | 32-Rara | 126,36 | 13,32 | 4,1 | 33,6 | ---- | ---- |
| 58-2 | 38-FR | 120,44 | 10,65 | 3,2 | 18,0 | No fess | 0,4 |
| 58-2 | 39-QP | 120,55 | 10,16 | 3,1 | 14,9 | No fess | 0,3 |

Tabella 37: Verifiche trave a presso-flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 12,8 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 10,9 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 195,5 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure entro I valori limite.

Si osserva che la compressione delle travi, in particolare le trasversali, riduce sensibilmente la trazione nelle armature e praticamente annulla la fessurazione.

10.6 SOLAIO

Il solaio di copertura è latero-cementizio, con travetti tralicciati e pignatte di alleggerimento da 20 cm, soletta superiore in c.a. da 4 cm, per uno spessore totale di 24 cm. Le caratteristiche di dettaglio dei componenti prefabbricati dipenderanno dalla reale fornitura in cantiere e quindi precisate nella progettazione costruttiva. In questo calcolo ne vengono perciò assunte le seguenti caratteristiche ricorrenti: larghezza travetto 12 cm, interasse travetto 50 cm, assenza di armatura aggiuntiva nel fondello.

I carichi agenti (vedi capitolo 7) sono:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 78 di 121 | |

- G1 3,00 kN/m² peso proprio
G2 1,80 kN/m² sovraccarico permanente
Gk 0,50 kN/m² accidentale
Gn 0,80 kN/m² neve

e danno luogo ai seguenti carichi di calcolo massimi in ciascuna combinazione:

| | | |
|----------|--------------------------|------------------------|
| SLU | 1,3 G1 + 1,3 G2 + 1,5 Gn | 7,44 kN/m ² |
| SLE-Rara | 1,0 G1 + 1,0 G2 + 1,0 Gn | 5,60 kN/m ² |
| SLE-FR | 1,0 G1 + 1,0 G2 + 0,2 Gn | 4,96 kN/m ² |
| SLE-QP | 1,0 G1 + 1,0 G2 | 4,80 kN/m ² |

Il solaio presenta configurazioni e luci diverse, tipicamente 4,80 m. Le sollecitazioni vengono calcolate con riferimento al travetto più lungo della campata del padiglione di testa, luce teorica 5,20 m, considerato nello schema di trave isolata con vincolo di semi-incastro alle estremità:

$$V = 1/2qL \quad Mm = 1/10qL^2 \quad Ma = 1/10qL^2$$

e sono riportate in tabella con riferimento al singolo travetto, quindi per una striscia di solaio larga 0,50 m:

| Comb. | V (kN) | Mm = Ma (kNm) |
|----------|-----------|------------------|
| SLU | 9,67 | 10,06 |
| SLE-Rara | 7,28 | 7,57 |
| SLE-FR | 6,45 | 6,71 |
| SLE_QP | 6,24 | 6,49 |

Tabella 38: Sollecitazioni solaio

Per le verifiche a flessione in campata si considera la sezione a T con larghezza travetto 12 cm, larghezza ala superiore 50 cm, altezza ala 4 cm, altezza totale 24 cm, armatura in opera sul fondello 2Φ14 mentre per le verifiche a flessione e taglio in appoggio si considera la sezione rettangolare (12x24) cm armata con 2Φ14; in favore di sicurezza sono trascurati sia i ferri inferiori del travetto che quelli della rete elettrosaldata (Φ 8/15x15) nella soletta superiore. L'incidenza dell'armatura aggiuntiva in opera è di 20 kg/mq, comprensiva della rete superiore e delle fasce rompitratta.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 79 di 121 | |

Verifiche allo SLU

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma “Verifica C.A.” dell’Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente delle sezioni riportato nella seguente tabella con l’indicazione del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Solaio | M (kNm) | Mr (kNm) | $1/\rho_M$ |
|----------|------------|-------------|------------|
| mezzeria | 10,06 | 21,96 | 2,18 |
| appoggio | -10,06 | -14,95 | 1,48 |

NOTE:

- Per convenzione, M è positivo se tende le fibre inferiori

Tabella 39: Verifiche solaio a flessione - SLU

Per la verifica a taglio si determina la resistenza della sezione per la quale non è prevista una specifica armatura resistente per questa sollecitazione, come consentito dalla norma (punto 4.1.2.1.3.1 del DM 2008) in assenza di sforzi di trazione. La resistenza al taglio è:

$$V_{RD} = [0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d = 18585 \text{ N} = \mathbf{18,58 \text{ kN/m}}$$

dove:

$$b_w = 120 \text{ mm}$$

larghezza sezione

$$d = 190 \text{ mm}$$

altezza utile sezione

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

in questo caso: $k = 2,00$

$$\rho_1 = 308 / (120 \times 190) = 0,01351$$

rapporto geometrico armatura longitudinale

$$f_{ck} = 29,0 \text{ N/mm}^2$$

resistenza caratteristica cilindrica del cls

$$\gamma_c = 1,5$$

coefficiente parziale di sicurezza per il cls

$$\sigma_{cp} = 0$$

tens. media compr. (nulla, in favore di sicurezza)

che risulta superiore a $V_{Ed} = 9,67 \text{ kN}$.

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 80 di 121 |

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio relative al solaio.

| Solaio | Comb. | M (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|----------|--------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| mezzeria | SLE-Ra | 7,57 | 3,6 | 141,4 |
| mezzeria | SLE-FR | 6,71 | 3,1 | 125,4 |
| mezzeria | SLE-QP | 6,49 | 3,1 | 121,3 |
| appoggio | SLE-Ra | -7,57 | 7,4 | 156,2 |
| appoggio | SLE-FR | -6,71 | 6,6 | 138,5 |
| appoggio | SLE-QP | -6,49 | 6,4 | 135,0 |

Tabella 40: Verifiche solaio a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 7,4 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 29,0 = 17,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 6,4 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 29,0 = 13,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 156,2 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che il modesto valore delle trazioni nell'armatura (max 138,5 N/mm² per FR e 135,0 N/mm² per QP) costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi di questo stato limite. Per dette combinazioni risultano infatti valori di ampiezza delle fessure pari a $w_d = 0,127$ mm per Fr e $w_d = 0,120$ mm per QP, in entrambi i casi inferiori ai valori limite per armature poco sensibili in ambiente ordinario. La presenza del fondello in intradosso e della rete elettrosaldada in estradosso costituisce un'ulteriore garanzia al riguardo.

10.7 CORNICIONE

Il cornicione è una soletta piena in c. a. dello spessore di 18 cm.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 81 di 121 | |

I carichi agenti (vedi capitolo 7) sono:

- G1 5,00 kN/m² peso proprio ripartito + peso veletta in punta di 2,06 kN
- G2 1,20 kN/m² sovraccarico permanente
- Gk 0,50 kN/m² accidentale
- Gn 1,30 kN/m² neve (valore massimo relative alle falde di compluvio)

e danno luogo ai seguenti carichi di calcolo massimi in ciascuna combinazione:

- SLU 1,3 G1 + 1,3 G2 + 1,5 Gn 9,36 kN/m² e 2,68 kN/m in punta
- SLE-Rara 1,0 G1 + 1,0 G2 + 1,0 Gn 7,00 kN/m² e 2,06 kN/m in punta
- SLE-FR 1,0 G1 + 1,0 G2 + 0,2 Gn 5,96 kN/m² e 2,06 kN/m in punta
- SLE-QP 1,0 G1 + 1,0 G2 5,70 kN/m² e 2,06 kN/m in punta

Le sollecitazioni vengono calcolate sullo schema di mensola incastrata nella trave perimetrale sulla luce di 1,00 m:

$$V = qL + Q \quad M = 1/2qL^2 + QL$$

e sono riportate in tabella con riferimento ad una striscia di cornicione larga 1,00 m:

| Comb. | V (kN) | Mm = Ma (kNm) |
|----------|-----------|------------------|
| SLU | 12,04 | 7,36 |
| SLE-Rara | 9,06 | 5,56 |
| SLE-FR | 8,02 | 5,04 |
| SLE_QP | 7,76 | 4,91 |

Tabella 41: Sollecitazioni cornicione

Per le verifiche a flessione e taglio si considera la sezione rettangolare (100x18) cm armata con Φ 14/20 superiori e Φ 12/20 inferiori (armatura superiore al minimo) in direzione trasversale e con ripartitori longitudinali Φ 12/20 inferiori e superiori. L'incidenza dell'armatura in opera del cornicione risulta di 160 kg/mc mentre per la veletta, armata con Φ 12/20 nelle due direzioni, è di 140 kg/mc.

Verifiche allo SLU

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione riportato

| | | | | | | |
|---|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio IricAV Due</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | | | | | |
| <p>FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 20%;">Foglio 82 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 82 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 82 di 121 | | |

nella seguente tabella con l'indicazione del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Cornicione | M (kNm) | Mr (kNm) | 1/ ρ_M |
|------------|------------|-------------|-------------|
| incastro | 7,36 | 38,96 | 5,29 |

Tabella 42: Verifica cornicione a flessione - SLU

Per la verifica a taglio si determina la resistenza della sezione per la quale non è prevista una specifica armatura resistente per questa sollecitazione, come consentito dalla norma (punto 4.1.2.1.3.1 del DM 2008) in assenza di sforzi di trazione. La resistenza al taglio è:

$$V_{RD} = [0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d = 75504 \text{ N} = \mathbf{75,50 \text{ kN/m}}$$

dove:

| | |
|--|--|
| $b_w = 1000 \text{ mm}$ | larghezza sezione |
| $d = 130 \text{ mm}$ | altezza utile sezione |
| $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$ | in questo caso: $k = 2,00$ |
| $\rho_1 = 770 / (1000 \times 180) = 0,00428$ | rapporto geometrico armatura longitudinale |
| $f_{ck} = 33,2 \text{ N/mm}^2$ | resistenza caratteristica cilindrica del cls |
| $\gamma_c = 1,5$ | coefficiente parziale di sicurezza per il cls |
| $\sigma_{cp} = 0$ | tens. media compr. (nulla, in favore di sicurezza) |

che risulta superiore a $V_{Ed} = 9,06 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio relative al cornicione.

| Cornicione | Comb. | M (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) |
|------------|--------|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| incastro | SLE-Ra | -5,56 | 2,2 | 62,1 |

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 83 di 121 | |

| | | | | |
|----------|--------|-------|-----|------|
| Incastro | SLE-FR | -5,04 | 2,0 | 56,3 |
| Incastro | SLE-QP | -4,91 | 2,0 | 54,8 |

Tabella 43: Verifiche cornicione a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,2 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 33,2 = 19,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 2,0 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 33,2 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 62,1 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Nei riguardi della fessurazione si osserva che il modesto valore delle trazioni nell'armatura costituisce una verifica indiretta ma significativa nei riguardi di questo stato limite.

10.8 VERIFICA AGLI SLE PER AZIONI SISMICHE

10.8.1 VERIFICA DANNEGGIAMENTO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per limitare i danneggiamenti strutturali, le sollecitazioni calcolate in presenza di sisma SLD, con coefficiente $\eta = 2/3$, devono risultare inferiori ai corrispondenti valori di progetto calcolati assumendo coefficienti parziali unitari per i materiali.

In proposito si osserva che:

- nel paragrafo 9.3 è stata determinata la forza sismica totale per i diversi stati limite e quella per SLD (440,91 kN) è risultata inferiore a quella dello SLV (467,96 kN);
- le verifiche dei diversi elementi strutturali eseguite nei precedenti punti di questo capitolo si riferiscono allo SLV, con coefficienti parziali dei materiali $\gamma_c=1,5$ per il calcestruzzo e $\gamma_s=1,15$ l'acciaio d'armatura.

Da quanto sopra si evince che la verifica SLD in questione confronta sollecitazioni minori e resistenze maggiori rispetto alla verifica SLV e pertanto risulta indirettamente soddisfatta per tutti gli elementi strutturali.

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 84 di 121 | |

10.8.2 VERIFICA DANNO AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Per limitare i danni agli elementi non strutturali, lo spostamento dell'unico piano del fabbricato in presenza di sisma SLO deve rispettare la condizione:

$$d_r = 2/3 \times 0,005 h$$

considerata la presenza di tamponamenti che interferiscono con la deformabilità della struttura, con h altezza del piano stesso.

In proposito si osserva che:

- nel paragrafo 9.3 è stata determinata la forza sismica totale per i diversi stati limite e quella per SLO è risultata 530,18 kN, quindi superiore a quella dello SLV, pari a 467,96 kN;
- dall'analisi del modello spaziale eseguita per SLV è risultato uno spostamento del piano pari a 0,00214 mm in direzione X (longitudinale) per il nodo 22 nella comb. 52, e pari a 0,00745 mm in direzione Y (trasversale) per il nodo 22 nella comb. 64;

Da quanto sopra si può determinare lo spostamento limite con $h = 3,77$ m:

$$d_r = 2/3 \times 0,005 \times 3770 = 12,56 \text{ mm}$$

e lo spostamento massimo per SLO (nella direzione trasversale), per proporzione delle forze sismiche:

$$d_y = 0,00745 \times (530,18/467,96) = 0,00844 \text{ m} = 8,44 \text{ mm}$$

che risulta inferiore a d_r e quindi la verifica è soddisfatta.

Lo spostamento massimo nella direzione longitudinale è:

$$d_x = 0,00214 \times (530,18/467,96) = 0,00242 \text{ m} = 2,42 \text{ mm}$$

e quindi ampiamente compatibile con la larghezza del giunto strutturale di 100 mm.

11 VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURA IN FONDAZIONE

11.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

La struttura di fondazione di ciascun corpo è costituita da un reticolo di travi. E' prevista una trave perimetrale a "T rovescia" con suola di (170x50) cm e anima di (45x80) cm, ad eccezione del tratto trasversale sul giunto per il quale la sagoma è a L con suola di (120x50) cm e anima di (40x80) cm; l'altezza totale è di 130 cm sull'intero perimetro.

| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 85 di 121 |

Sono anche previste travi di collegamento, generalmente con sezione (100x50), poste sugli allineamenti strutturali trasversali e delle murature interne.

Il modello impiegato per l'analisi globale della struttura comprende anche le travi rovesce di fondazione e la reattività verticale offerta dal terreno di base è stata schematizzata con molle alla Winkler con costante elastica $K_w = 10000 \text{ kN/m}^3$.

Per quanto già illustrato nel Cap. 6, il volume di terreno interessato dalla fondazione interessa parzialmente anche il terreno in situ per il quale il progetto geotecnico ha fissato tra 50 e 60 kN/m^2 il valore della pressione ammissibile media per le combinazioni caratteristiche (rare).

Le verifiche geotecniche consistono sostanzialmente nella verifica di capacità portante che generalmente viene condotta seguendo l'Approccio 2: (A1 + M1 + R3), con i coefficienti parziali indicati in dettaglio nel capitolo 8, quindi con coefficienti parziali unitari per le caratteristiche del terreno e pari a 2,3 per la fondazione superficiale.

In questo caso specifico la verifica geotecnica consiste nel confronto tra la pressione media sul piano d'appoggio calcolata per le combinazioni caratteristiche (individuate con i numeri da 21 a 32) e la pressione ammissibile sopra indicata.

Dall'analisi dei risultati del calcolo spaziale risulta una distribuzione sostanzialmente omogenea degli abbassamenti e quindi della reazione del terreno, come era nelle attese data la notevole rigidità delle travi rovesce. A titolo di esempio si riportano gli abbassamenti dei punti posti sulla verticale dei pilastri del filo A di carpenteria per la combinazione quasi permanente (comb. 39: pesi propri e carichi portati):

| | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pilastro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| dz (mm) | 5,62 | 5,29 | 5,41 | 5,60 | 5,68 | 5,75 | 5,95 |

Tabella 44: Abbassamenti filo A per la combinazione QP

dalla quale risulta un rapporto min/max pari a 0,89. Una conferma è data dal dettaglio degli abbassamenti dei punti intermedi ai pilastri, al passo medio di 1,20 m, ad esempio del tronco di trave portante principale posta sul filo A, dal pilastro 4 al pilastro 5, determinati per la più gravosa tra le combinazioni caratteristiche (loading 24):

| | | | | | |
|----------|---|----|----|----|---|
| Pilastro | 4 | 53 | 54 | 55 | 5 |
|----------|---|----|----|----|---|

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 86 di 121 | |

| | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|
| dz (mm) | 5,87 | 5,89 | 5,92 | 5,94 | 5,95 |
|---------|------|------|------|------|------|

Tabella 45: Abbassamenti filo A per la combinazione QP – da pil. 4 a pil. 5

Dagli abbassamenti letti sul tabulato di calcolo si ricavano le pressioni sul terreno semplicemente moltiplicando per la costante Kw:

dz max = 0,00595 m nodo 5 comb. 24 (SLE RA 4 di Tab. 8a)

La pressione massima risulta:

$$q_t = 0,00595 \times 10000 = 59,5 \text{ kN/m}^2$$

quindi compresa nel campo delle pressioni ammissibili indicate nel progetto geotecnico e la verifica di capacità portante del terreno è soddisfatta.

11.2 VERIFICHE STRUTTURALI TRAVI DI FONDAZIONE

11.2.1 TRAVI ROVESCE

Le travi di fondazione a T rovescia hanno dimensioni diverse, come segue:

- travi longitudinali e di testata: larghezza anima 45 cm, larghezza ala inferiore 170 cm, altezza ala 50 cm, altezza totale 130 cm e sono individuate come gruppo 1;
- trave trasversale di giunto: larghezza anima 40 cm, larghezza ala inferiore 120 cm, altezza ala 50 cm, altezza totale 130 cm ed è individuata come gruppo 2;
- trave trasversale interna filo 12: larghezza anima 30 cm, larghezza ala inferiore 120 cm, altezza ala 50 cm, altezza totale 130 cm ed è individuata come gruppo 3.

Per tutte viene adottata la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 4 Φ 20 inferiori correnti nell'anima
 - 4 Φ 20 superiori correnti nell'anima (8 Φ 20 superiori correnti, su due strati, nell'anima della sola trave sul filo 12, gruppo 3)
 - Φ 12 reggistaffe e intermedi sui lati dell'ala e dell'anima, correnti, in numero di 22 per il gruppo 1 e 20 per i gruppi 2 e 3
- armature trasversali:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 87 di 121 | |

staffa Φ 12 dell'anima + staffa Φ 14 dell'ala con passo di 150 mm per un tratto di 90 cm alle estremità, con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni di armatura; in particolare l'armatura longitudinale inf. e sup. ($12,56 \text{ cm}^2$) risulta di poco superiore al minimo ($0,2/100 \times 45 \times 130 = 11,70 \text{ cm}^2$) riferito all'anima delle travi principali con sezione maggiore. Ne risulta l'incidenza di armatura di 90 kg/mc per il gruppo 1, di 100 kg/mc per il gruppo 2 e di 110 kg/mc per il gruppo 3, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Nelle seguenti verifiche verrà richiamato il numero della trave con il gruppo di appartenenza e indicata la sezione di verifica: mezzeria (m) o appoggio (a); in tutti i casi verrà considerata reagente solo l'armatura dell'anima.

Verifiche allo SLV

La verifica a flessione retta è stata eseguita con il programma "Verifica C.A." dell'Ing. Piero Gelfi, con il quale è stato determinato il momento resistente della sezione. Nella seguente tabella sono riassunte le verifiche più gravose, con l'indicazione delle sollecitazioni di calcolo (M_x) e delle sollecitazioni resistenti e del coefficiente ($1/\rho_M$) che misura il rapporto tra sollecitazioni resistenti e sollecitazioni di calcolo.

| Trave fond. | Comb. | M_x (kNm) | γ_{Rd} | M_{xd} (kNm) | M_{xr} (kNm) | $1/\rho_M$ |
|-------------|-------|-------------|---------------|----------------|----------------|------------|
| 72-1-m | 57 | 198,67 | 1,1 | 218,54 | 601,00 | 2,75 |
| 80-1-a | 52 | -92,59 | 1,1 | -101,85 | -590,60 | 5,80 |
| 123-2-m | 64 | 270,16 | 1,1 | 297,18 | 602,80 | 2,03 |
| 133-3-m | 73 | 429,19 | 1,1 | 472,11 | 1188,00 | 2,52 |

NOTE:

- I momenti flettenti risultanti dall'analisi vengono amplificati con $\gamma_{Rd} = 1,1$ per tenere conto della richiesta di sovraresistenza rispetto alle azioni trasmesse dalla struttura in elevazione (cfr. 7.2.5 NTC).
- Per convenzione, M_x è positivo se tende le fibre superiori.

Tabella 46: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLV

Per la verifica a taglio si determina la resistenza a "taglio trazione" delle armature:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 88 di 121 | |

$$V_{Rsd} = 0,9 \times d \times A_{sw}/s \times f_{yd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \times \sin \alpha$$

dove:

| | |
|---------------------------------|---|
| $d = 1240 \text{ mm}$ | altezza utile sezione |
| $A_{sw} = 226 \text{ mm}^2$ | area dell'armatura sul singolo strato |
| $s = 150 \text{ mm}$ | l'interasse tra due strati consecutivi di armatura |
| $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ | resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura |
| $\theta = 45^\circ$ | inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max) |
| $\alpha = 90^\circ$ | inclinazione delle armature rispetto all'asse |

ottenendo: $V_{Rsd} = 657,95 \text{ kN}$, valido per tutti i gruppi,

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)/(1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

dove:

| | |
|---------------------------------|---|
| $d = 1240 \text{ mm}$ | altezza utile sezione |
| $b_w = 450 \text{ mm}$ | larghezza della sezione |
| $\alpha_c = 1$ | coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo) |
| $f'_{cd} = 7,05 \text{ N/mm}^2$ | resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$ |
| $\theta = 45^\circ$ | inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse |
| $\alpha = 90^\circ$ | inclinazione delle armature rispetto all'asse |

ottenendo: $V_{Rsd} = 1770,25 \text{ kN}$ per il gruppo 1, $V_{Rsd} = 1573,55 \text{ kN}$ per il gruppo 2 e $V_{Rsd} = 1180,16 \text{ kN}$ per il gruppo 3

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 657,95 \text{ kN}$$

che risulta superiore al massimo taglio di calcolo $V_{Ed \max} = (1,1 \times 252,31) = 277,54 \text{ kN}$ (asta 128, gruppo 3, comb. 71), anche questo incrementato del coefficiente $\gamma_{Rd} = 1,1$.

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a flessione retta, eseguita con analoga procedura.

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 89 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 89 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 89 di 121 | | |

| Trave fond. | Comb. | Mxd (kNm) | Mxr (kNm) | 1/ρ _M |
|-------------|-------|-----------|-----------|------------------|
| 71-1-m | 20 | 180,74 | 601,00 | 3,32 |
| 80-1-a | 9 | -77,90 | -590,60 | 7,58 |
| 124-2-m | 9 | 289,55 | 602,80 | 2,08 |
| 133-3-m | 10 | 581,90 | 1188,00 | 2,04 |

Tabella 47: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLU

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

$$T_d = 329,85 \text{ kN (trave 128, gruppo 3, Comb. 11)}$$

inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 657,95 \text{ kN}$.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4 \text{ mm}$ per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

| Trave fond. | Comb. | Mx (kNm) | σ _c (N/mm ²) | σ _s (N/mm ²) | w _d (mm) | w _{lim} (mm) |
|-------------|---------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 71-1-m | 32-Rara | 137,76 | 1,1 | 93,1 | ---- | ---- |
| 79-1-a | 24-Rara | -60,93 | 0,8 | 41,9 | ---- | ---- |
| 71-1-m | 38-FR | 130,88 | 1,1 | 88,5 | No fess | 0,4 |
| 79-1-a | 34-FR | -52,75 | 0,7 | 36,2 | No fess | 0,4 |
| 71-1-m | 39-QP | 129,49 | 1,1 | 87,5 | No fess | 0,3 |
| 79-1-a | 39-QP | -51,04 | 0,6 | 35,5 | No fess | 0,3 |
| 124-2-m | 21-Rara | 219,76 | 1,6 | 148,0 | ---- | ---- |
| 124-2-m | 34-FR | 204,00 | 1,5 | 137,4 | No fess | 0,4 |
| 129-2-m | 39-QP | 200,49 | 1,5 | 135,0 | No fess | 0,3 |

| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 90 di 121 |

| | | | | | | |
|---------|---------|--------|-----|-------|------|------|
| 133-3-m | 22-Rara | 443,53 | 2,2 | 152,4 | ---- | ---- |
| 133-3-m | 34-FR | 421,94 | 2,2 | 144,7 | 0,12 | 0,4 |
| 133-3-m | 39-QP | 417,00 | 2,1 | 143,0 | 0,12 | 0,3 |

Tabella 48: Verifiche travi rovesce a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni abbondantemente inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 2,2 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 24,9 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 2,2 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 24,9 = 11,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 152,4 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

Si osserva che in molti casi le tensioni nelle armature sono molto basse, il momento agente risulta inferiore a quello di prima fessurazione e quindi la sezione non si fessura; in altri l'ampiezza delle fessure è contenuta entro il valore limite.

11.2.2 TRAVI DI COLLEGAMENTO TRASVERSALI INTERNE

Le travi di questo gruppo hanno tutte sezione rettangolare (60x40), con la seguente armatura:

- armature longitudinali:
 - 8 Φ 20 inferiori correnti
 - 8 Φ 20 correnti
 - 4 Φ 12 intermedi sui lati
- armature trasversali:
 - staffa Φ 10 a 4 bracci con passo di 150 mm per un tratto di 90 cm alle estremità, con passo 200 mm nella parte centrale.

Tale armatura è conforme alle prescrizioni normative sui dettagli costruttivi relative alle limitazioni di armatura; in particolare l'armatura longitudinale (25,12 cm²) risulta superiore al minimo (0,2/100x100x50= 10,00 cm²) ed è prevista doppia simmetrica in relazione alla funzione di tirante che la trave si trova a svolgere in fase sismica. Ne risulta l'incidenza di armatura di 150 kg/mc, comprensiva dell'incidenza delle sovrapposizioni nella luce netta della trave.

Verifiche allo SLV

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 92 di 121 | |

$f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo dell'armatura
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse (max)
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo: $V_{Rsd} = 326,45 \text{ kN}$

e la resistenza a "taglio compressione" del calcestruzzo:

$$V_{Rcd} = 0,9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

dove:

$d = 440 \text{ mm}$ altezza utile sezione
 $b_w = 1000 \text{ mm}$ larghezza della sezione
 $\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo (valore minimo cautelativo)
 $f'_{cd} = 7,05 \text{ N/mm}^2$ resistenza caratteristica di calcolo ridotta del cls $= 0,5 f_{cd}$
 $\theta = 45^\circ$ inclinazione del puntone in cls rispetto all'asse
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione delle armature rispetto all'asse
ottenendo: $V_{Rsd} = 1454,14 \text{ kN}$

e si assume la minore delle due, cioè:

$$V_{Rd} = 326,45 \text{ kN}$$

che risulta superiore al massimo taglio di calcolo $V_{Ed \max} = (1,1 \times 130,65) = 143,72 \text{ kN}$ (asta 177, comb. 62, anche questo incrementato del coefficiente $\gamma_{Rd} = 1,1$).

Verifiche allo SLU

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche a flessione retta, eseguita con analoga procedura.

| Trave fond. | Comb. | M _{xd} (kNm) | M _{xr} (kNm) | 1/ρ _M |
|-------------|-------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| 169 | 9 | 203,66 | 398,10 | 1,95 |

Tabella 50: Verifiche travi di collegamento a flessione retta - SLU

Per la verifica al taglio il valore massimo di calcolo è:

| | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 93 di 121 | |

$T_d = 164,21$ kN (trave 177, Comb. 11)
inferiore al valore resistente $V_{Rd} = 326,45$ kN.

Verifiche allo SLE

Nella seguente tabella sono riportate le più gravose verifiche delle tensioni di esercizio e alla fessurazione.

Per lo stato limite della fessurazione sono state considerate condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili cui corrispondono valori di apertura delle fessure $w_3 = 0,4$ mm per la combinazione frequente e $w_2 = 0,3$ mm per la quasi permanente; il valore di calcolo w_d e il confronto con i valori limite è riportato in tabella.

| Trave fond. | Comb. | Mx (kNm) | σ_c (N/mm ²) | σ_s (N/mm ²) | w_d (mm) | w_{lim} (mm) |
|-------------|---------|----------|---------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|
| 169 | 21-Rara | 155,21 | 4,6 | 157,6 | ---- | ---- |
| 169 | 34-FR | 147,52 | 4,3 | 149,8 | 0,139 | 0,4 |
| 169 | 39-QP | 145,76 | 4,3 | 148,0 | 0,135 | 0,3 |

Tabella 51: Verifiche trave di collegamento a flessione retta - SLE

con valori delle tensioni inferiori ai corrispondenti valori limite:

$$\sigma_{c, \max} = 4,6 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \times 24,9 = 14,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (per Rara e FR)}$$

$$\sigma_{c, \max} = 4,3 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times 24,9 = 11,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (per QP)}$$

$$\sigma_{s, \max} = 157,6 \text{ N/mm}^2 < 0,8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$$

e ampiezza delle fessure inferiori ai valori limite.

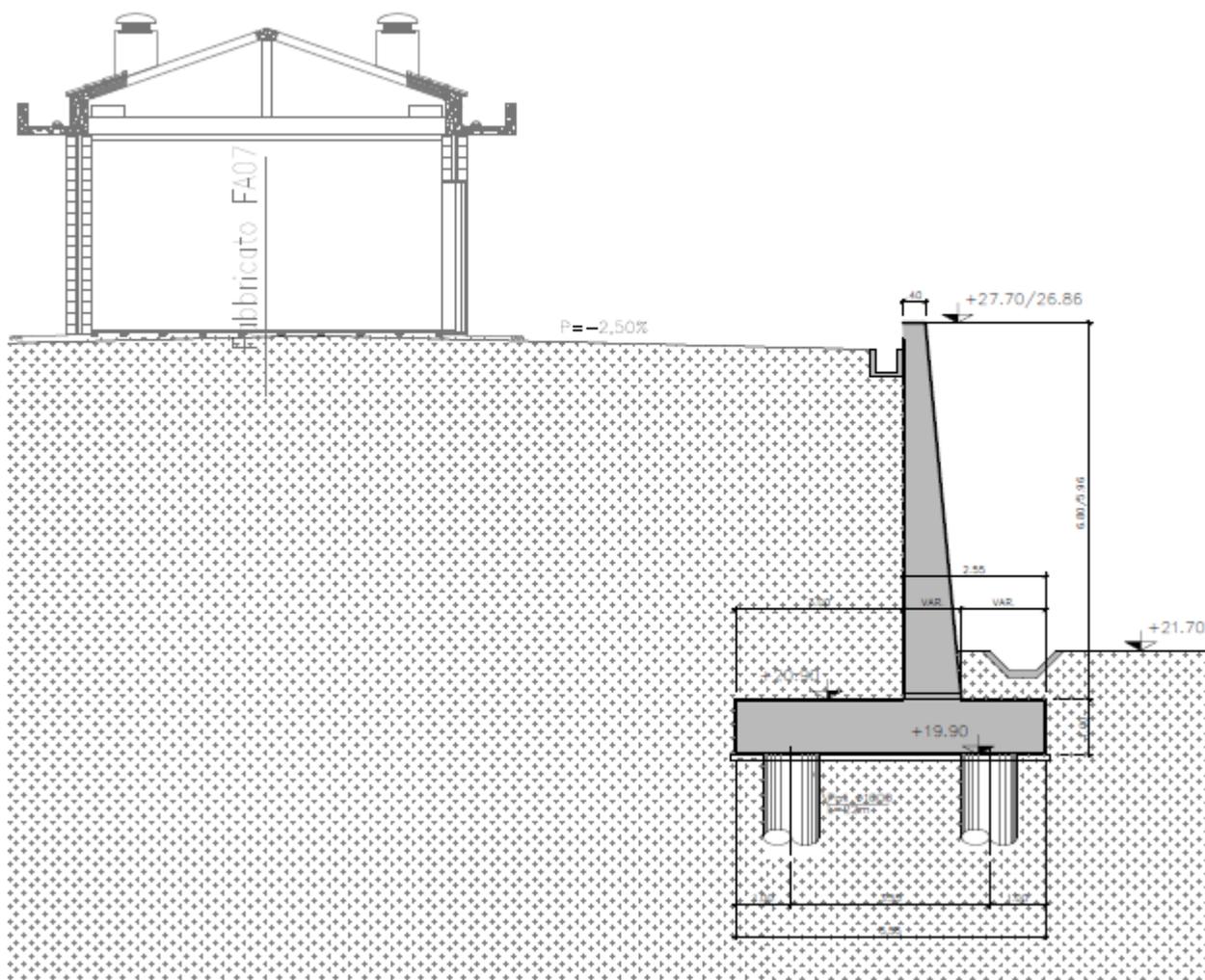
12 ALLEGATO 1: TABULATO DI CALCOLO

Il tabulato si compone di migliaia di pagine e allegarlo fisicamente renderebbe la relazione materialmente non gestibile e di difficile consultazione. Pertanto se ne riporta il file in formato .DOC nel dvd allegato.

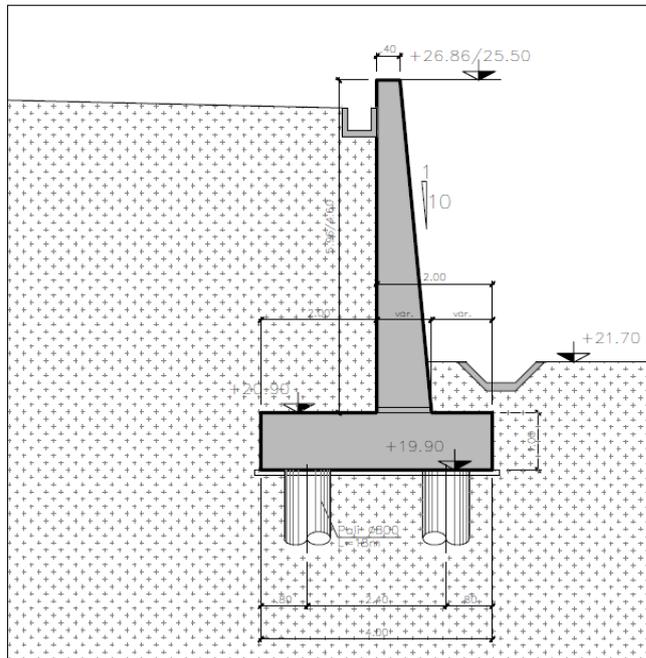
13 ALLEGATO 2: CALCOLO MURO DI SOSTEGNO

Di seguito vengono riportate le verifiche del muro di sostegno in prossimità del fabbricato precedentemente relazionato:

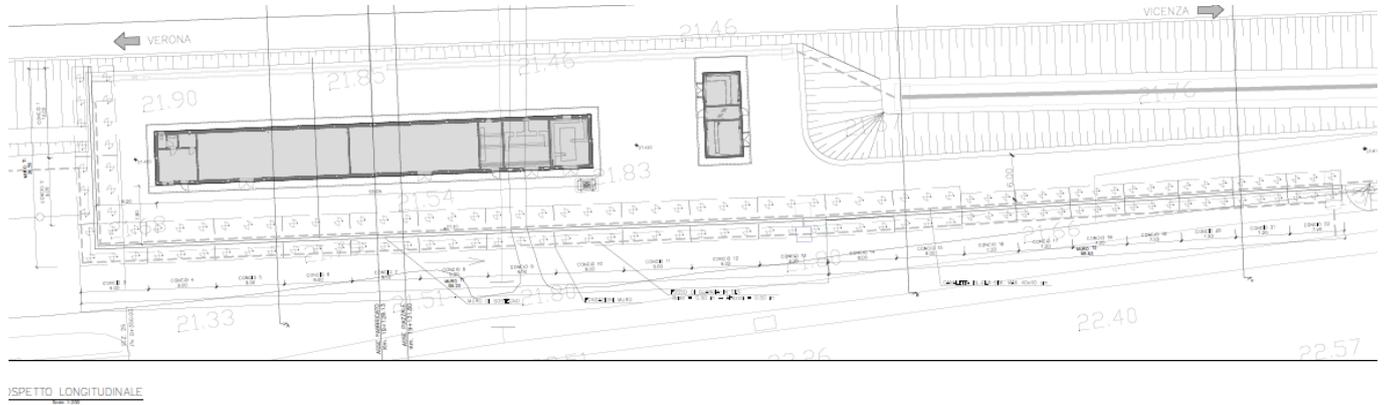
Il muro ha un'altezza totale massima di 7,8 m ed una minima di 4.59 m, si sviluppa per una lunghezza complessiva di 167m+21m=188m suddiviso in conci da 9/12/18m (tipologia 1) e 7,2/14,4m (tipologia 2).



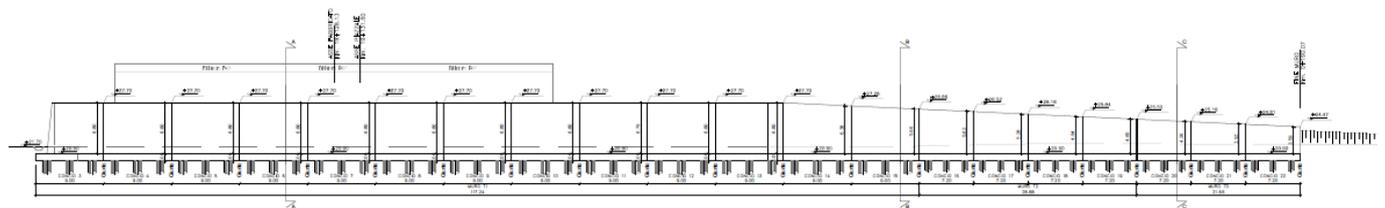
Tipologia muro 1



Tipologia muro 2



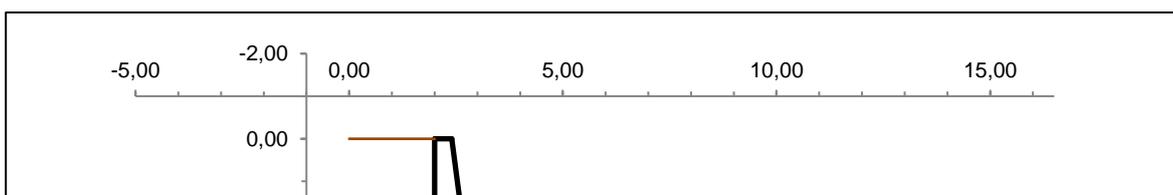
ISPETTO LONGITUDINALE



Pianta e vista laterale muro

Le verifiche vengono presentate per entrambe le tipologie di muro.

Muro Tipologia 1



| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 96 di 121 |

Geometric Data

| Main Wall Section | | | Side Wall Sections | | | External Soil Sect. | |
|-------------------|----------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| z | X _M | X _V | X _{Ma1} | X _{Ma2} | X _{Ma3} | X _{ME} | X _{VE} |
| m | m | m | m | m | m | m | m |
| 0.00 | | | | | | | |
| 0.00 | 3.00 | 3.40 | | | | | |
| 6.80 | 3.00 | 4.00 | | | | | |
| 6.80 | 0.00 | 5.50 | | | | | |
| 7.80 | 0.00 | 5.50 | | | | | |
| Width (y') | | 18.00 | | | | | |
| Actual Width | | 18.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Number of Parts | | 1 | | | | | |

Work out Data

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|---------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 97 di 121 | |

| | | |
|--------------------------|---|-------------|
| Foundation Top Elevation | m | 6.80 |
| Global Height | m | 7.80 |

Work out Data

| | | |
|--------------------------|-----------|--------------|
| Wall Extention (y') | m | 18.00 |
| Actual Wall Extention | m | 18.00 |
| Wall-Road Corner | ° | 0 |
| Wall-Road Corner (tan) | - | 0.000 |
| Wall Slope | ° | 0.00 |
| Work out Strip | m | 1.00 |
| X - Z Plane Problem Only | SI | |

Pile Foundation

| | | |
|-----------------------------|----|--------------|
| Foundation Extension (y') | m | 18.00 |
| Actual Foundation Extension | m | 18.00 |
| Pile Diameter | mm | 1000 |
| Pile Length | m | 22 |

Pile Position

| Pile Alignment Data | n | x | ly |
|---------------------|----------|-------------|-------------|
| Unit | - | m | m |
| 1° Alignment | 6 | 1.00 | 3.00 |
| 2° Alignment | 6 | 4.55 | 3.00 |
| | | | |
| | | | |

General Data of Loads

| | | |
|---------------------|-------------------|--------------|
| Wall Unit Weight | kN/m ³ | 25.00 |
| Dead Load | kN/m ¹ | 3.00 |
| Live Load | kN/m ² | 20.00 |
| Ground Acceleration | g | 0.147 |
| Coefficient S | | 1.48 |
| Decrease Factor 1/r | | 0.86 |

Structural Materials

| Element | | Elevat. | Found. | Pile |
|----------------------------------|-----|--------------|--------------|--------------|
| Concrete Characteristic Strength | Mpa | 30 | 30 | 25 |
| Concrete safety factor | | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Steel Characteristic Strength | Mpa | 450 | 450 | 450 |
| Steel safety factor | | 1.15 | 1.15 | 1.15 |
| Concrete Design strength | Mpa | 17.00 | 17.00 | 14.17 |
| Steel Design strength | Mpa | 391 | 391 | 391 |
| Steel Limit strength (SLS) | Mpa | 200.0 | 200.0 | 200.0 |

Soil Characteristics

| Soil layer | z _t | ps | φ' | c' | C _u | α _c | α _{cu} |
|------------|----------------|-------------------|----|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| | m | kN/m ³ | ° | kN/m ² | kN/m ² | - | - |

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|---------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 98 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 98 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 98 di 121 | | |

| | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 20.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 7.80 | 20.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 7.80 | 19.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.50 |
| | | 19.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.50 |
| 3 | 0.00 | | | | | | |
| | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Soil Parameters

| | | |
|----------------------------------|-------------------|-------|
| Ground Slope (°) | ° | 0.000 |
| Soil/Wall Friction | % φ | 0% |
| Upstream Groundwater Elevation | m | 15.00 |
| Downstream Groundwater Elevation | m | 15.00 |
| Rest Coefficient | SI | |
| Groundwater Effects | NO Groundwater | |

Foundation Soil Characteristics

| | | |
|---|-------|--------|
| Axial: Surface shear modulus, G(0) | kPa | 85000 |
| Axial: Shear modulus gradient, dG/dz | kPa/m | 3000 |
| Axial: Shear modulus below base, G _b | kPa | 205000 |
| Lateral: Surface shear modulus, G(0) | kPa | 85000 |
| Lateral: Shear modulus gradient, dG/dz | kPa/m | 3000 |
| Poisson's ratio (all loading modes) | - | 0.33 |

Point Loads

| Load Type | z | x | y | Z Force | X Force | Y Force | |
|----------------|---|---|---|---------|---------|---------|----------|
| | m | m | m | kN | kN | kN | |
| Dead force 1 | | | | | | | S |
| Dead force 2 | | | | | | | S |
| Live force | | | | | | | S |
| Live force | | | | | | | S |
| ΔSeismic force | | | | | | | |
| ΔSeismic force | | | | | | | |

Characteristics of RC sections

| Section | Base of the wall | | |
|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| | H | B | c |
| Geometric Data | | | |
| Dimensions and Cover | 1000 | 1000 | 40 |
| Bending Reinforcement | n _a | φ _a | d |
| Rear Reinforcement (soil side) | 10 | 24 | 68 |
| 2° Layer | 10 | 24 | 92 |
| 3° Layer | | | |
| Front reinforcement | 5 | 24 | 932 |
| Shear reinforcement | φ _s | s _y | s _z |
| Ties | 16 | 400 | 400 |

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 100 di 121 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
| ULS | GEO 1 | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.10 | 1.80 |
| ULS | GEO 2 | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.10 | 1.80 |
| ULS | SEISM | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| SLS | RARE | (1) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 3.00 |
| SLS | QUAP | (1) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 3.00 |

Di seguito i valori delle azioni agenti sul muro

Stress on Foundation

| iricav stradali | | Load | Soil | N kN | T _x kN | M _y kNm | T _y kN | M _x kNm | M ₀ kNm |
|-----------------|-------|------|------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ULS | EQU | EQU | M2 | 10911 | 8334 | 16977 | 0 | 0 | 0 |
| ULS | STR 1 | A1 | M1 | 12123 | 8163 | 15287 | 0 | 0 | 0 |
| ULS | STR 2 | A1 | M1 | 17824 | 8163 | 10504 | 0 | 0 | 0 |
| ULS | GEO 1 | A2 | M2 | 12123 | 7466 | 13482 | 0 | 0 | 0 |
| ULS | GEO 2 | A2 | M2 | 13365 | 7466 | 11899 | 0 | 0 | 0 |
| ULS | SEISM | (1) | M2 | 10994 | 8325 | 16379 | 0 | 0 | 0 |
| SLS | RARE | (1) | (1) | 12123 | 6047 | 9157 | 0 | 0 | 0 |
| SLS | QUAP | (1) | (1) | 12123 | 4849 | 4488 | 0 | 0 | 0 |

Stress on Piles

| iricav stradali | | Load | Soil | N _{pmax} kN | N _{pmin} kN | T _p kN | M _p kNm |
|-----------------|-------|------|------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| ULS | EQU | EQU | M2 | | | | |
| ULS | STR 1 | A1 | M1 | 1728 | 293 | 680 | 1585 |
| ULS | STR 2 | A1 | M1 | 1978 | 992 | 680 | 1585 |
| ULS | GEO 1 | A2 | M2 | 1643 | 377 | 622 | 1450 |
| ULS | GEO 2 | A2 | M2 | 1672 | 555 | 622 | 1450 |
| ULS | SEISM | (1) | M2 | 1685 | 147 | 694 | 1617 |
| SLS | RARE | (1) | (1) | 1440 | 580 | 504 | 1174 |
| SLS | QUAP | (1) | (1) | 1221 | 800 | 404 | 942 |

Di seguito le verifiche degli elementi strutturali del muro:

Pile Section Check

| iricav stradali | | Load | Soil | N _p kN | T _p kN | U _{Tp} - | M _p kNm | U _{Mp} - | CHECK |
|-----------------|-------|------|------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| ULS | EQU | EQU | M2 | | | | | | |
| ULS | STR 1 | A1 | M1 | 293 | 680 | 0.433 | 1585 | 0.433 | OK |
| ULS | STR 2 | A1 | M1 | 992 | 680 | 0.433 | 1585 | 0.423 | OK |
| ULS | GEO 1 | A2 | M2 | 377 | 622 | 0.396 | 1450 | 0.395 | OK |
| ULS | GEO 2 | A2 | M2 | 555 | 622 | 0.396 | 1450 | 0.392 | OK |
| ULS | SEISM | (1) | M2 | 147 | 694 | 0.441 | 1617 | 0.443 | OK |
| SLS | RARE | (1) | (1) | 580 | 504 | | 1174 | 0.768 | OK |
| SLS | QUAP | (1) | (1) | 800 | 404 | | 942 | 0.596 | OK |

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 101 di 121 |

Check at the base of the wall

| iricav stradali | Load | Soil | N _s | T _s | U _{Ts} | M _s | U _{Ms} | CHECK |
|------------------|------------|------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|
| | | | kN/m | kN/m | - | kNm/m | - | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | 119 | 356 | 0.856 | 894 | 0.297 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | 161 | 356 | 0.844 | 889 | 0.294 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | 119 | 327 | 0.785 | 828 | 0.275 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | 119 | 327 | 0.785 | 828 | 0.275 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | 119 | 259 | 0.622 | 597 | 0.199 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | 119 | 264 | | 658 | 0.450 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | 119 | 206 | | 461 | 0.315 | OK |

Section 1 Check (downstream)

| iricav stradali | Load | Soil | | T ₁ | U _{T1} | M ₁ | U _{M1/σ} | CHECK |
|------------------|------------|------------|--|----------------|-----------------|----------------|-------------------|-------|
| | | | | kN/m | - | kNm/m | - / Mpa | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | | -538.48 | 0.522 | 288.66 | 0.186 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | | -608.86 | 0.590 | 324.75 | 0.209 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | | -510.24 | 0.495 | 273.13 | 0.176 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | | -519.96 | 0.504 | 278.48 | 0.179 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | | -527.71 | 0.512 | 283.44 | 0.183 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | | -442.56 | | 235.91 | 0.311 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | | -369.48 | | 195.71 | 0.258 | OK |

Section 2 Check (upstream)

| iricav stradali | Load | Soil | | T ₂ | U _{T2} | M ₂ | U _{M2} | CHECK |
|------------------|------------|------------|--|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|
| | | | | kN/m | - | kNm/m | - | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | | -394 | 0.383 | -543 | 0.235 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | | -414 | 0.402 | -456 | 0.198 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | | -366 | 0.916 | -486 | 0.211 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | | -376 | 0.941 | -471 | 0.204 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | | -397 | 0.994 | -571 | 0.247 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | | -299 | | -351 | 0.309 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | | -225 | | -205 | 0.180 | OK |

Di seguito nello specifico le verifiche strutturali delle sezioni notevoli:

WALL H = 6.80 m SEZIONE DI SPICCATO

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

| | | | | | | |
|--|---|--|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Progetto IN17</td> <td style="width: 15%;">Lotto 10</td> <td style="width: 30%;">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td style="width: 10%;">Rev. A</td> <td style="width: 25%;">Foglio 102 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 102 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 102 di 121 | | |

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 30 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 20.0 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di sicur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.5 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

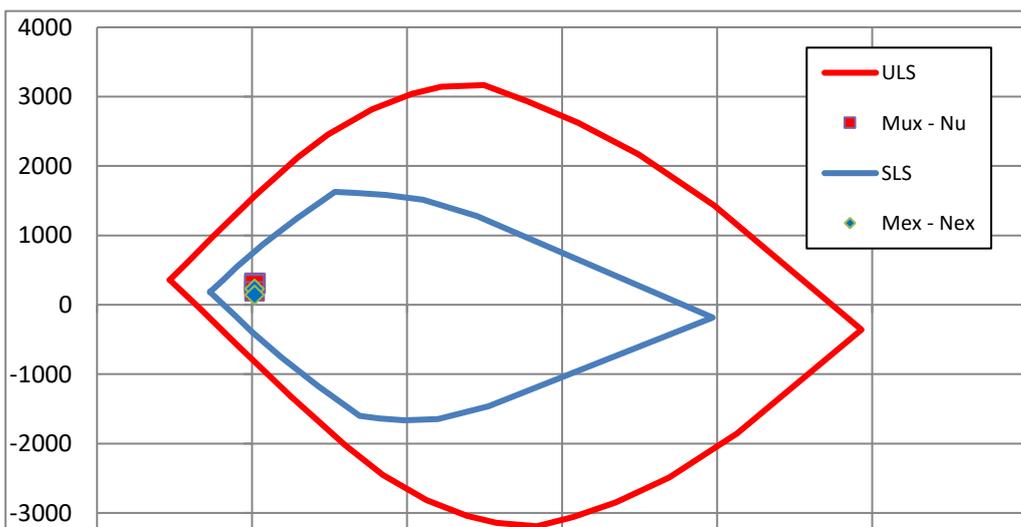
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|---------------------------|---|----|------|
| Dimensione in direzione x | B | mm | 1000 |
| Dimensione in direzione y | H | mm | 1000 |
| Copriferro netto | c | mm | 40 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|------------------------------------|-------|---------------|------------|
| Armature parallele lato B strato 1 | 10 | 24 | 68 |
| Armature parallele lato B strato 2 | 10 | 24 | 92 |
| Armature parallele lato B strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 4 | 5 | 24 | 932 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe in direzione y | 2.50 | 16 | 400 |

DOMINIO DI ROTTURA N - M



| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 104 di 121 |

WALL H = 6.80 m SEZIONE 2 IN FONDAZIONE

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-------------------------------------|---------------|-------|--------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 30 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 17.00 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di sicur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.5 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

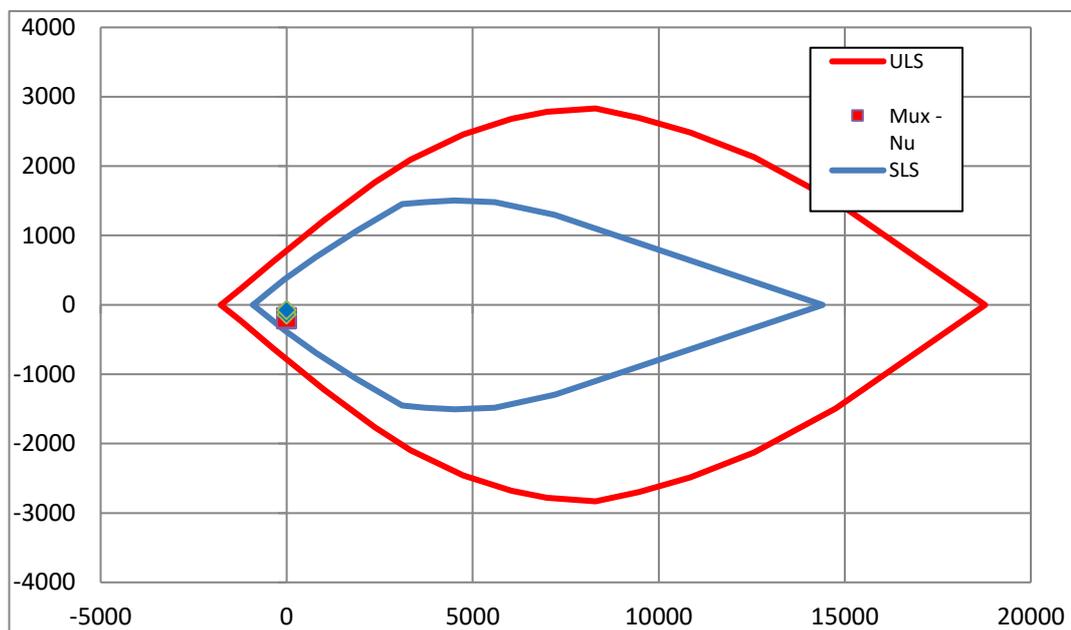
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|---------------------------|---|----|------|
| Dimensione in direzione x | B | mm | 1000 |
| Dimensione in direzione y | H | mm | 1000 |
| Copriferro netto | c | mm | 40 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|------------------------------------|-------|---------------|------------|
| Armature parallele lato B strato 1 | 10 | 24 | 68 |
| Armature parallele lato B strato 2 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 4 | 15 | 24 | 932 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | S_w (mm) |
| Staffe in direzione y | 2.50 | 16 | 400 |

DOMINIO DI ROTTURA N - M



VERIFICA SEZIONE IN C.A.

| Combinazione | | STR 1 | STR 2 | GEO 1 | GEO 2 | SEISM | RARE | QUAP |
|-----------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N_{Ed} | kN | | | | | | | |
| V_{Ed} | kN | 394 | 414 | 366 | 376 | 397 | 299 | 225 |
| M_{Ed} | kNm | - 543 | - 456 | - 486 | - 471 | - 571 | - 351 | - 205 |
| V_{Rd} | kN | 1,031 | 1,031 | 400 | 400 | 400 | | |
| M_{Rd} | kNm | - 2,309 | - 2,309 | - 2,309 | - 2,309 | - 2,309 | - 1,136 | - 1,136 |
| U_M | - | 0.24 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.25 | 0.31 | 0.18 |
| U_{Ta} | - | 0.99 | - | 0.92 | 0.94 | 0.99 | | |
| U_{Tc} | - | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | | |
| U_{Ts} | - | 0.38 | 0.40 | 0.36 | 0.36 | 0.39 | | |
| Verifica | | OK |

WALL H =

6.80 m

SEZIONE PALO

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | | Simb. | Unità | Valore |
|-----------|--|-------|-------|--------|
|-----------|--|-------|-------|--------|

| | | | | | | |
|--|--|--|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="842 235 967 286">Progetto IN17</td> <td data-bbox="967 235 1062 286">Lotto 10</td> <td data-bbox="1062 235 1353 286">Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001</td> <td data-bbox="1353 235 1433 286">Rev. A</td> <td data-bbox="1433 235 1541 286">Foglio 106 di 121</td> </tr> </table> | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 106 di 121 |
| Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 106 di 121 | | |

| | | | |
|-------------------------------------|---------------|-----|-------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 25 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 14.17 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di secur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.8 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200.0 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

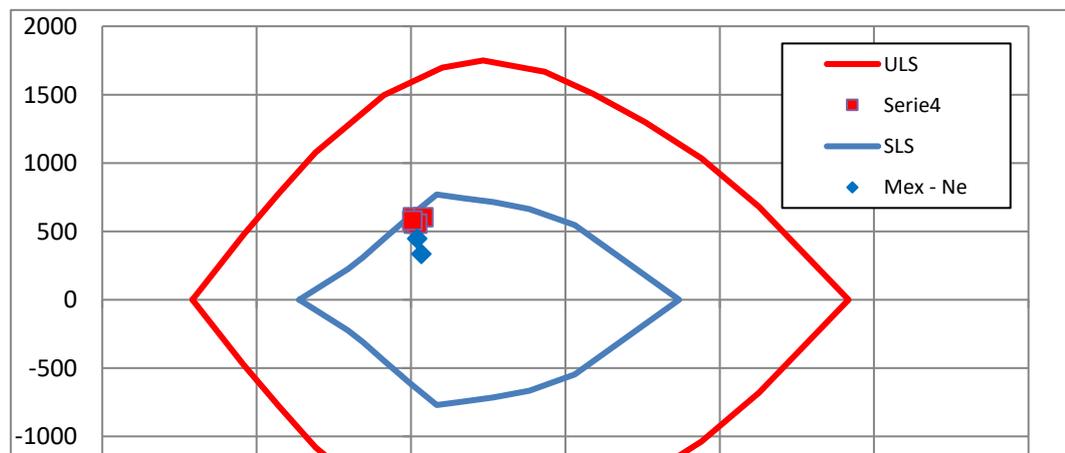
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|------------------|-------------|----|------|
| Diametro | \emptyset | mm | 1000 |
| Copriferro netto | c | mm | 60 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|----------------------|-------|---------------|------------|
| Armature strato 1 | 30 | 26 | 93 |
| Armature strato 2 | 30 | 26 | 119 |
| Armature strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe strato 1 | 2 | 20 | 100 |
| Staffe strato 2 | 0 | 0 | |
| Staffe strato 3 | 0 | 0 | |

DOMINIO DI ROTTURA N - M



| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 107 di 121 |

VERIFICA SEZIONE IN C.A.

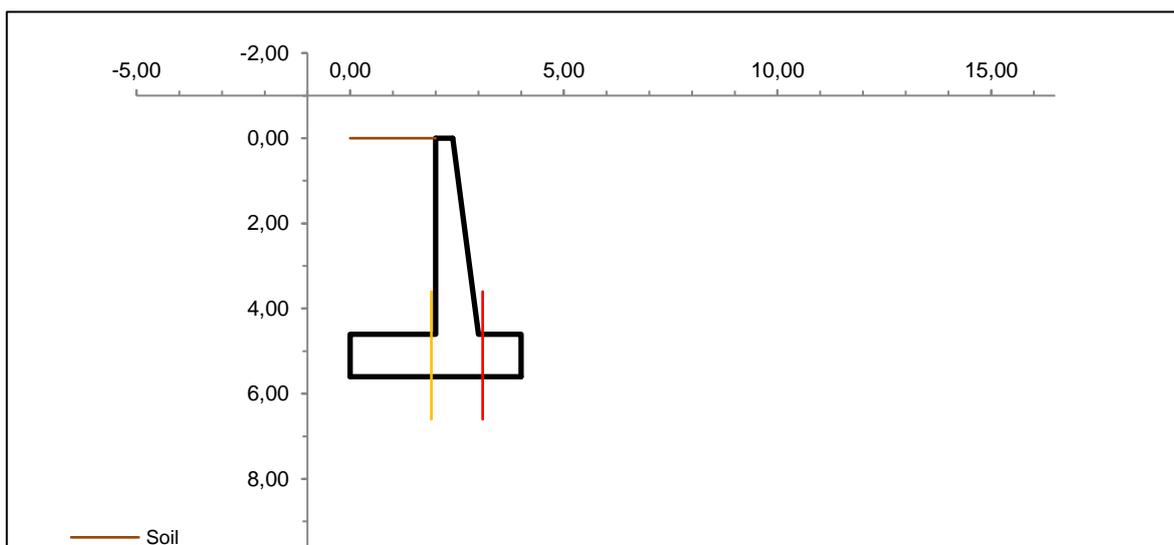
| Combinazione | | STR 1 | STR 2 | GEO 1 | GEO 2 | SEISM | RARE | QUAP |
|-----------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N_{Ed} | kN | 292.57 | 992.21 | 377.27 | 555.12 | 147.2 | 580 | 800 |
| V_{Ed} | kN | 680 | 680 | 622 | 622 | 694 | 504 | 404 |
| M_{Ed} | kNm | 1585.21 | 1585.21 | 1449.73 | 1449.73 | 1616.55 | 1,174 | 942 |
| V_{Rd} | kN | 1,572 | 1,572 | 1,572 | 1,572 | 1,572 | | |
| M_{Rd} | kNm | 3664.35 | 3748.97 | 3674.60 | 3696.10 | 3646.77 | 1,530 | 1,580 |
| U_M | - | 0.43 | 0.42 | 0.39 | 0.39 | 0.44 | 0.77 | 0.60 |
| U_{Ta} | - | - | - | - | - | - | | |
| U_{Tc} | - | 0.31 | 0.29 | 0.28 | 0.28 | 0.32 | | |
| U_{Ts} | - | 0.43 | 0.43 | 0.40 | 0.40 | 0.44 | | |
| Verifica | | OK |

Muro Tipologia 2

WALL H =

4.80 m

SUMMARY OF DATA



| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 108 di 121 | |

Geometric Data

| Main Wall Section | | | Side Wall Sections | | | External Soil Sect. | |
|-------------------|----------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Z | X _M | X _V | X _{Ma1} | X _{Ma2} | X _{Ma3} | X _{ME} | X _{VE} |
| m | m | m | m | m | m | m | m |
| 0.00 | | | | | | | |
| 0.00 | 2.00 | 2.40 | | | | | |
| 4.80 | 2.00 | 3.00 | | | | | |
| 4.80 | 0.00 | 4.00 | | | | | |
| 5.80 | 0.00 | 4.00 | | | | | |
| Width (y') | | 14.40 | | | | | |
| Actual Width | | 14.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Number of Parts | | 1 | | | | | |

Work out Data

| | | |
|--------------------------|---|------|
| Foundation Top Elevation | m | 4.80 |
| Global Height | m | 5.80 |

Work out Data

| | | |
|------------------------|---|-------|
| Wall Extention (y') | m | 14.40 |
| Actual Wall Extention | m | 14.40 |
| Wall-Road Corner | ° | 0 |
| Wall-Road Corner (tan) | - | 0.000 |
| Wall Slope | ° | 0.00 |

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 109 di 121 | |

| | | |
|--------------------------|-----------|-------------|
| Work out Strip | m | 1.00 |
| X - Z Plane Problem Only | SI | |

Pile Foundation

| | | |
|-----------------------------|----|--------------|
| Foundation Extension (y') | m | 14.40 |
| Actual Foundation Extension | m | 14.40 |
| Pile Diameter | mm | 800 |
| Pile Length | m | 15/18 |

Pile Position

| Pile Alignment Data | n | x | ly |
|---------------------|----------|-------------|-------------|
| Unit | - | m | m |
| 1° Alignment | 6 | 0.80 | 2.40 |
| 2° Alignment | 6 | 3.20 | 2.40 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

General Data of Loads

| | | |
|---------------------|-------------------|--------------|
| Wall Unit Weight | kN/m ³ | 25.00 |
| Dead Load | kN/m ¹ | 3.00 |
| Live Load | kN/m ² | 20.00 |
| Ground Acceleration | g | 0.147 |
| Coefficient S | | 1.48 |
| Decrease Factor 1/r | | 0.86 |

Structural Materials

| Element | | Elevat. | Found. | Pile |
|----------------------------------|-----|--------------|--------------|--------------|
| Concrete Characteristic Strength | Mpa | 30 | 30 | 25 |
| Concrete safety factor | | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Steel Characteristic Strength | Mpa | 450 | 450 | 450 |
| Steel safety factor | | 1.15 | 1.15 | 1.15 |
| Concrete Design strength | Mpa | 17.00 | 17.00 | 14.17 |
| Steel Design strength | Mpa | 391 | 391 | 391 |
| Steel Limit strength (SLS) | Mpa | 200.0 | 200.0 | 200.0 |

Soil Characteristics

| Soil layer | z _t m | ps kN/m ³ | φ' ° | c' kN/m ² | c _u kN/m ² | α _c - | α _{cu} - |
|------------|---------------------|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 0.00 | 20.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| | 5.60 | 20.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 5.60 | 19.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.50 |
| | | 19.00 | 35.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.50 |
| 3 | 0.00 | | | | | | |
| | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Soil Parameters

| | | |
|------------------|---|--------------|
| Ground Slope (°) | ° | 0.000 |
|------------------|---|--------------|

| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 110 di 121 | |

| | | |
|----------------------------------|--------------------------|--------------|
| Soil/Wall Friction | % ϕ | 0% |
| Upstream Groundwater Elevation | m | 15.00 |
| Downstream Groundwater Elevation | m | 15.00 |
| Rest Coefficient | SI | |
| Groundwater Effects | NO Groundwater | |

Foundation Soil Characteristics

| | | |
|--|-------|---------------|
| Axial: Surface shear modulus, $G(0)$ | kPa | 85000 |
| Axial: Shear modulus gradient, dG/dz | kPa/m | 3000 |
| Axial: Shear modulus below base, G_b | kPa | 205000 |
| Lateral: Surface shear modulus, $G(0)$ | kPa | 85000 |
| Lateral: Shear modulus gradient, dG/dz | kPa/m | 3000 |
| Poisson's ratio (all loading modes) | - | 0.33 |

Point Loads

| Load Type | z | x | y | Z Force | X Force | Y Force | |
|------------------------|---|---|---|---------|---------|---------|----------|
| | m | m | m | kN | kN | kN | |
| Dead force 1 | | | | | | | S |
| Dead force 2 | | | | | | | S |
| Live force | | | | | | | S |
| Live force | | | | | | | S |
| Δ Seismic force | | | | | | | |
| Δ Seismic force | | | | | | | |

Characteristics of RC sections

| Section | Base of the wall | | |
|--------------------------------|------------------|-------------|------------|
| | H | B | c |
| Geometric Data | | | |
| Dimensions and Cover | 1000 | 1000 | 40 |
| Bending Reinforcement | n_a | ϕ_a | d |
| Rear Reinforcement (soil side) | 5 | 24 | 68 |
| 2° Layer | 5 | 24 | 92 |
| 3° Layer | | | |
| Front reinforcement | 5 | 24 | 932 |
| Shear reinforcement | ϕ_s | s_y | s_z |
| Ties | 16 | 400 | 400 |

Characteristics of RC sections

| Section | Section 1 | | | Section 2 | | |
|------------------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| | H | B | c | H | B | c |
| Geometric Data | | | | | | |
| Dimensions and Cover | 1000 | 1000 | 40 | 1000 | 1000 | 40 |
| Bending Reinforcement | n_a | ϕ_a | d | n_a | ϕ_a | d |
| Bottom Reinforcement | 5 | 24 | 68 | 5 | 24 | 68 |
| 2° Layer | | | | | | |

| | |
|---|---|
|  Consorzio IricAV Due | ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 Lotto 10 Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 Rev. A Foglio 111 di 121 |

| | | | | | | |
|----------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 3° Layer | | | | | | |
| Top Reinforcement | 5 | 24 | 932 | 5 | 24 | 932 |
| Shear Reinforcement | ϕ_s | s_x | s_y | ϕ_s | s_x | s_y |
| Ties | 16 | 400 | 400 | 16 | 400 | 400 |

Characteristics of RC sections

| Section | Pile | |
|------------------------------|----------|----------|
| | ϕ | c |
| Geometric data | | |
| Diameter and cover | 800 | 60 |
| Bending Reinforcement | n_a | ϕ_a |
| Straight Bars 1° Layer | 20 | 24 |
| Straight Bars 2° Layer | 20 | 24 |
| Straight Bars 3° Layer | | |
| Shear Reinforcement | ϕ_s | s_z |
| Ties 1° Layer | 20 | 100 |
| Ties 2° Layer | | |
| Ties 3° Layer | | |

Combination Factors

| iricav stradali | | Load | Load Factors | | | | | |
|-----------------|-----------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|------------|
| | | | γ_{GS} | γ_{GR} | γ_{QS} | γ_{QR} | ψ_Q | γ_E |
| ULS | EQU | EQU | 0.90 | 1.10 | 0.00 | 1.35 | 1.00 | 0.00 |
| ULS | STR 1 | A1 | 1.00 | 1.35 | 0.00 | 1.35 | 1.00 | 0.00 |
| ULS | STR 2 | A1 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.00 | 0.00 |
| ULS | GEO 1 | A2 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.15 | 1.00 | 0.00 |
| ULS | GEO 2 | A2 | 1.00 | 1.00 | 1.15 | 1.15 | 1.00 | 0.00 |
| ULS | SEIS M | (1) | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| SLS | RARE | (1) | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| SLS | QUAP | (1) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |

Combination factors

| NTC 2008 | | Soil | Soil Parameter Coefficients | | | | | |
|----------|-----------|------|-----------------------------|------------|------------|---------------|-------|-------|
| | | | $\gamma_{tan\phi}$ | γ_c | γ_r | γ_{cu} | R_s | R_T |
| ULS | EQU | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.10 | 1.00 |
| ULS | STR 1 | M1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| ULS | STR 2 | M1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| ULS | GEO 1 | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.10 | 1.80 |
| ULS | GEO 2 | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.10 | 1.80 |
| ULS | SEIS M | M2 | 1.25 | 1.25 | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| SLS | RARE | (1) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 3.00 |
| SLS | QUAP | (1) | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 | 3.00 |

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 112 di 121 |

Di seguito i valori delle azioni agenti sul muro

Stress on Foundation

| iricav stradali | Load | Soil | N | T _x | M _y | T _y | M _x | M ₀ |
|-----------------|------|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | kN | kN | kNm | kN | kNm | kNm |
| ULS EQU | EQU | M2 | 4802 | 3789 | 6164 | 0 | 0 | 0 |
| ULS STR 1 | A1 | M1 | 5335 | 3667 | 5537 | 0 | 0 | 0 |
| ULS STR 2 | A1 | M1 | 7980 | 3667 | 3952 | 0 | 0 | 0 |
| ULS GEO 1 | A2 | M2 | 5335 | 3381 | 5006 | 0 | 0 | 0 |
| ULS GEO 2 | A2 | M2 | 5998 | 3381 | 4344 | 0 | 0 | 0 |
| ULS SEISM | (1) | M2 | 4839 | 3528 | 5196 | 0 | 0 | 0 |
| SLS RARE | (1) | (1) | 5335 | 2717 | 3504 | 0 | 0 | 0 |
| SLS QUAP | (1) | (1) | 5335 | 2029 | 1578 | 0 | 0 | 0 |

Stress on Piles

| iricav stradali | Load | Soil | N _{pmax} | N _{pmin} | T _p | M _p |
|-----------------|------|------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| | | | kN | kN | kN | kNm |
| ULS EQU | EQU | M2 | | | | |
| ULS STR 1 | A1 | M1 | 829 | 60 | 306 | 602 |
| ULS STR 2 | A1 | M1 | 939 | 391 | 306 | 602 |
| ULS GEO 1 | A2 | M2 | 792 | 97 | 282 | 555 |
| ULS GEO 2 | A2 | M2 | 801 | 198 | 282 | 555 |
| ULS SEISM | (1) | M2 | 764 | 42 | 294 | 580 |
| SLS RARE | (1) | (1) | 688 | 201 | 226 | 446 |
| SLS QUAP | (1) | (1) | 554 | 335 | 169 | 333 |

Di seguito le verifiche degli elementi strutturali del muro:

Pile Section Check

| iricav stradali | Load | Soil | N _p | T _p | U _{Tp} | M _p | U _{Mp} | CHECK |
|-----------------|------|------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|
| | | | kN | kN | - | kNm | - | |
| ULS EQU | EQU | M2 | | | | | | |
| ULS STR 1 | A1 | M1 | 60 | 306 | 0.248 | 602 | 0.377 | OK |
| ULS STR 2 | A1 | M1 | 391 | 306 | 0.248 | 602 | 0.369 | OK |
| ULS GEO 1 | A2 | M2 | 97 | 282 | 0.229 | 555 | 0.347 | OK |
| ULS GEO 2 | A2 | M2 | 198 | 282 | 0.229 | 555 | 0.345 | OK |
| ULS SEISM | (1) | M2 | 42 | 294 | 0.239 | 580 | 0.364 | OK |
| SLS RARE | (1) | (1) | 201 | 226 | | 446 | 0.683 | OK |
| SLS QUAP | (1) | (1) | 335 | 169 | | 333 | 0.492 | OK |

| | | | | | | |
|--|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 113 di 121 |

Check at the base of the wall

| iricav stradali | Load | Soil | N _s | T _s | U _{Ts} | M _s | U _{Ms} | CHECK |
|------------------|------------|------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|
| | | | kN/m | kN/m | - | kNm/m | - | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | 81 | 183 | 0.556 | 317 | 0.202 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | 109 | 183 | 0.550 | 313 | 0.198 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | 81 | 169 | 0.516 | 296 | 0.189 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | 81 | 169 | 0.516 | 296 | 0.189 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | 81 | 126 | 0.382 | 194 | 0.124 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | 81 | 135 | | 232 | 0.303 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | 81 | 96 | | 142 | 0.185 | OK |

Section 1 Check (downstream)

| iricav stradali | Load | Soil | T ₁ | U _{T1} | M ₁ | U _{M1/σ} | CHECK |
|------------------|------------|------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|-------|
| | | | kN/m | - | kNm/m | - / Mpa | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | -320.46 | 0.311 | 56.59 | 0.072 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | -357.70 | 0.347 | 61.41 | 0.078 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | -305.10 | 0.962 | 53.52 | 0.068 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | -308.93 | 0.974 | 54.29 | 0.069 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | -295.66 | 0.932 | 52.33 | 0.067 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | -261.63 | | 44.83 | 0.115 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | -205.91 | | 33.68 | 0.086 | OK |

Section 2 Check (upstream)

| iricav stradali | Load | Soil | T ₂ | U _{T2} | M ₂ | U _{M2} | CHECK |
|------------------|------------|------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------|
| | | | kN/m | - | kNm/m | - | |
| <i>ULS EQU</i> | <i>EQU</i> | <i>M2</i> | | | | | |
| <i>ULS STR 1</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | -215 | 0.208 | -210 | 0.267 | OK |
| <i>ULS STR 2</i> | <i>A1</i> | <i>M1</i> | -215 | 0.679 | -183 | 0.233 | OK |
| <i>ULS GEO 1</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | -200 | 0.629 | -192 | 0.244 | OK |
| <i>ULS GEO 2</i> | <i>A2</i> | <i>M2</i> | -203 | 0.641 | -187 | 0.238 | OK |
| <i>ULS SEISM</i> | <i>(1)</i> | <i>M2</i> | -200 | 0.631 | -196 | 0.250 | OK |
| <i>SLS RARE</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | -156 | | -139 | 0.358 | OK |
| <i>SLS QUAP</i> | <i>(1)</i> | <i>(1)</i> | -100 | | -72 | 0.186 | OK |

| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 114 di 121 |

Di seguito nello specifico le verifiche strutturali delle sezioni notevoli:

WALL H = 4.80 m SEZIONE DI SPICCATO

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

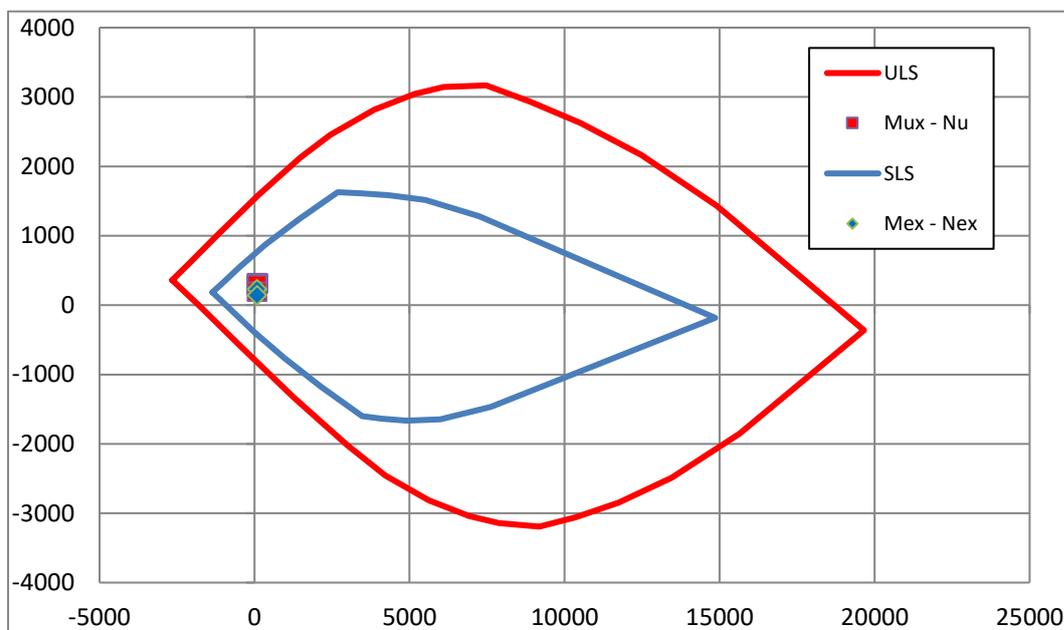
| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 30 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 20.0 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di secur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.5 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|---------------------------|---|----|------|
| Dimensione in direzione x | B | mm | 1000 |
| Dimensione in direzione y | H | mm | 1000 |
| Copriferro netto | c | mm | 40 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|------------------------------------|-------|---------------|------------|
| Armature parallele lato B strato 1 | 5 | 24 | 68 |
| Armature parallele lato B strato 2 | 5 | 24 | 92 |
| Armature parallele lato B strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 4 | 5 | 24 | 932 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe in direzione y | 2.50 | 16 | 400 |

**DOMINIO
DI
ROTTURA
N - M**

VERIFICA SEZIONE IN C.A.

| Combinazione | | STR 1 | STR 2 | GEO 1 | GEO 2 | SEISM | RARE | QUAP |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| N_{Ed} | kN | 81 | 109 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 |
| V_{Ed} | kN | 183 | 183 | 169 | 169 | 126 | 135 | 96 |
| M_{Ed} | kNm | 317 | 313 | 296 | 296 | 194 | 232 | 142 |
| V_{Rd} | kN | 328 | 332 | 328 | 328 | 328 | | |
| M_{Rd} | kNm | 1,567 | 1,579 | 1,567 | 1,567 | 1,567 | 766 | 766 |
| U_M | - | 0.20 | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.12 | 0.30 | 0.18 |
| U_{Ta} | - | 0.56 | 0.55 | 0.52 | 0.52 | 0.38 | | |
| U_{Tc} | - | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | | |
| U_{Ts} | - | 0.18 | 0.18 | 0.16 | 0.16 | 0.12 | | |
| Verifica | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

WALL H =

4.80 m

SEZIONE 2 IN
FONDAZIONE

| | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 116 di 121 |

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 30 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 17.00 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di sicur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.5 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

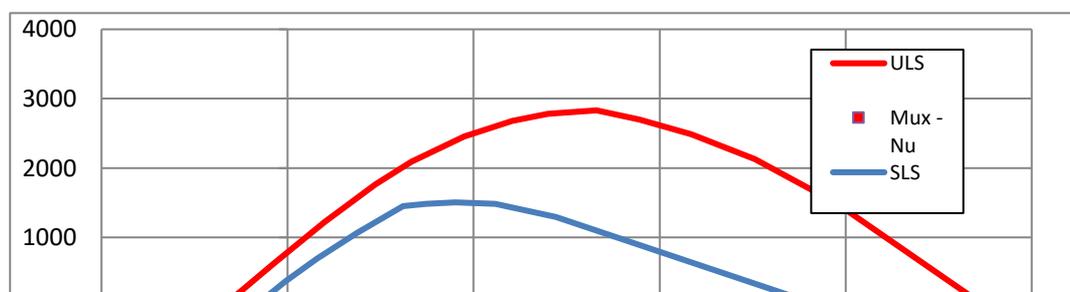
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|---------------------------|---|----|------|
| Dimensione in direzione x | B | mm | 1000 |
| Dimensione in direzione y | H | mm | 1000 |
| Copriferro netto | c | mm | 40 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|------------------------------------|-------|---------------|------------|
| Armature parallele lato B strato 1 | 5 | 24 | 68 |
| Armature parallele lato B strato 2 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 4 | 5 | 24 | 932 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe in direzione y | 2.50 | 16 | 400 |

**DOMINIO
DI
ROTTURA
N - M**



| | | | | | | |
|--|------------------|---|--|-----------|----------------------|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 117 di 121 | |

VERIFICA SEZIONE IN C.A.

| Combinazione | | STR 1 | STR 2 | GEO 1 | GEO 2 | SEISM | RARE | QUAP |
|-----------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N_{Ed} | kN | | | | | | | |
| V_{Ed} | kN | 320 | 358 | 305 | 309 | 296 | 262 | 206 |
| M_{Ed} | kNm | 57 | 61 | 54 | 54 | 52 | 45 | 34 |
| V_{Rd} | kN | 1,031 | 1,031 | 317 | 317 | 317 | | |
| M_{Rd} | kNm | 786 | 786 | 786 | 786 | 786 | 389 | 389 |
| U_M | - | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.12 | 0.09 |
| U_{Ta} | - | - | - | 0.96 | 0.97 | 0.93 | | |
| U_{Tc} | - | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | | |
| U_{Ts} | - | 0.31 | 0.35 | 0.30 | 0.30 | 0.29 | | |
| Verifica | | OK |

WALL H = 4.80 m **SEZIONE 2 IN FONDAZIONE**

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-----------------------------------|------------|-------|--------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 30 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |

| | | | | | |
|--|---|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128.13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 118 di 121 |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|---------------|-----|-------------|
| Resistenza di calcolo del cls | | f_{cd} | MPa | 17.00 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di sicur. sull'acciaio | | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | | σ_{cd} | MPa | 13.5 |
| Tensione limite acciaio | | σ_{yd} | MPa | 200 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | | n | - | 15 |

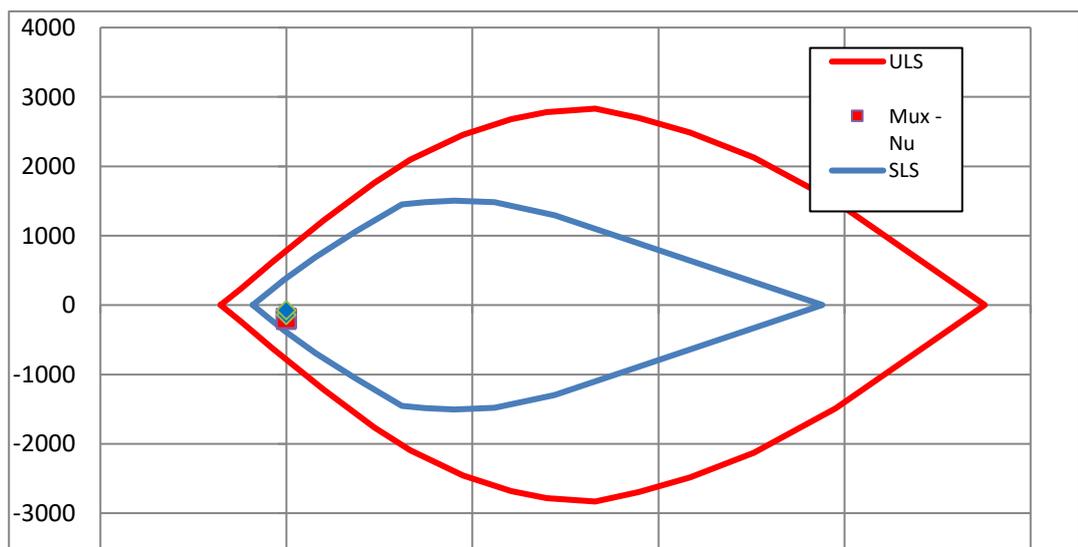
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | | |
|---------------------------|--|---|----|------|
| Dimensione in direzione x | | B | mm | 1000 |
| Dimensione in direzione y | | H | mm | 1000 |
| Copriferro netto | | c | mm | 40 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|------------------------------------|-------|---------------|------------|
| Armature parallele lato B strato 1 | 5 | 24 | 68 |
| Armature parallele lato B strato 2 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| Armature parallele lato B strato 4 | 5 | 24 | 932 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe in direzione y | 2.50 | 16 | 400 |

DOMINIO DI ROTTURA N - M



| | | | | | |
|---|--|-------------|--|-----------|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | | | | |
| FA07 - FABRICATO PT AL km 19+128,13 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE | Progetto IN17 | Lotto 10 | Codifica Documento Y12 CL FA 07 0 2 001 | Rev. A | Foglio 119 di 121 |

VERIFICA SEZIONE IN C.A.

| Combinazione | | STR 1 | STR 2 | GEO 1 | GEO 2 | SEISM | RARE | QUAP |
|-----------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N_{Ed} | kN | | | | | | | |
| V_{Ed} | kN | 215 | 215 | 200 | 203 | 200 | 156 | 100 |
| M_{Ed} | kNm | - 210 | - 183 | - 192 | - 187 | - 196 | - 139 | - 72 |
| V_{Rd} | kN | 1,031 | 317 | 317 | 317 | 317 | | |
| M_{Rd} | kNm | - 786 | - 786 | - 786 | - 786 | - 786 | - 389 | - 389 |
| U_M | - | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.36 | 0.19 |
| U_{Ta} | - | 0.68 | 0.68 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | | |
| U_{Tc} | - | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | | |
| U_{Ts} | - | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | | |
| Verifica | | OK |

WALL H = 4.80 m SEZIONE PALO

VERIFICA SEZIONE IN C.A. A TAGLIO E PRESSOFLESSIONE RETTA

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| Parametro | Simb. | Unità | Valore |
|-------------------------------------|---------------|-------|-------------|
| Resistenza caratteristica del cls | f_{ck} | Mpa | 25 |
| Coefficiente di sicurezza sul cls | γ_c | - | 1.5 |
| Resistenza di calcolo del cls | f_{cd} | MPa | 14.17 |
| Resistenza caratt. dell'acciaio | f_{yk} | MPa | 450 |
| Coefficiente di sicur. sull'acciaio | γ_s | - | 1.15 |
| Resistenza di calc. dell'acciaio | f_{yd} | MPa | 391 |
| Tensione limite calcestruzzo | σ_{cd} | MPa | 13.8 |
| Tensione limite acciaio | σ_{yd} | MPa | 200.0 |
| Coeffic. di omogeneizzazione | n | - | 15 |

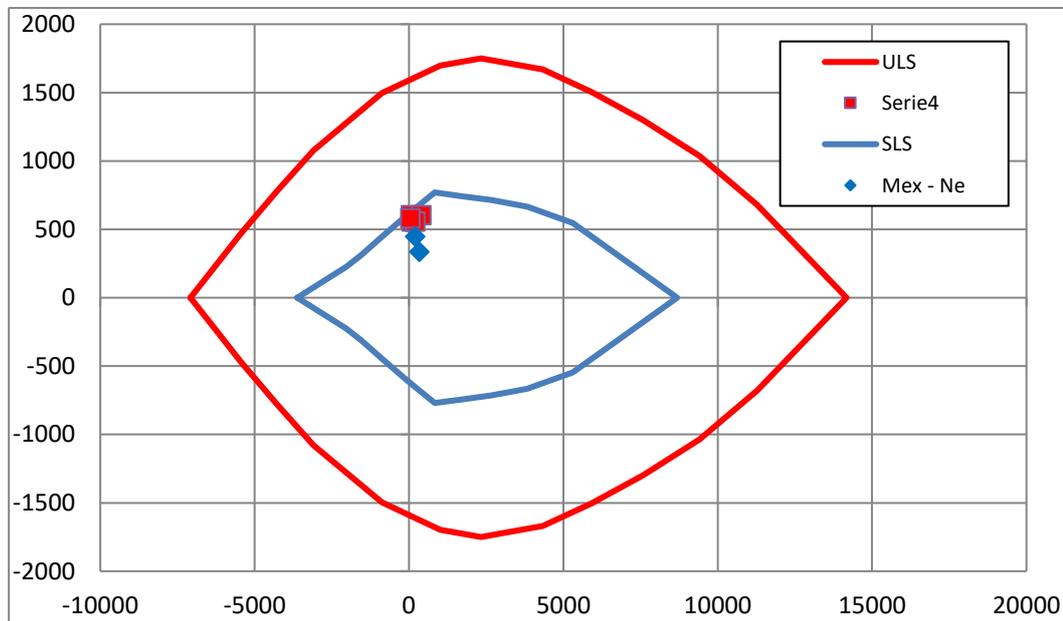
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

| | | | |
|------------------|-------------|----|-----|
| Diametro | \emptyset | mm | 800 |
| Copriferro netto | c | mm | 60 |

CARATTERISTICHE ARMATURE

| ARMATURE A FLESSIONE | n_a | ϕ_a (mm) | D (mm) |
|----------------------|-------|---------------|------------|
| Armature strato 1 | 20 | 24 | 92 |
| Armature strato 2 | 20 | 24 | 116 |
| Armature strato 3 | 0 | 0 | 0 |
| ARMATURE A TAGLIO | n_b | ϕ_w (mm) | s_w (mm) |
| Staffe strato 1 | 2 | 20 | 100 |
| Staffe strato 2 | 0 | 0 | |
| Staffe strato 3 | 0 | 0 | |

DOMINIO DI ROTTURA N - M



VERIFICA SEZIONE IN C.A.

